

monograf

STATUS DAN MITIGASI DINI SERANGAN PENYAKIT PINUS DI JAWA TIMUR

MENUJU AGROFORESTRI SEHAT BERBASIS PINUS

Sutarman



UMSIDA PRESS

Monograf

STATUS DAN MITIGASI DINI SERANGAN PENYAKIT PINUS di JAWA TIMUR

Menuju Agroforestri Sehat Berbasis Pinus

Oleh
Sutarman



UMSIDA I

Diterbitkan oleh
UMSIDA PRESS
Jl. Mojopahit 666 B Sidoarjo

ISBN: 978-979-3401-99-7

Copyright©2018

Sutarman

All rights reserved

Hak cipta dilindungi undang-undang.
Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian
atau seluruh isi buku ini ke dalam bentuk apapun,
secara elektronik, maupun mekanis, termasuk fotokopi,
merekam, atau dengan teknik perekaman lainnya,
tanpa izin tertulis dari penerbit.
[Berdasarkan UU No. 19 Tahun 2000 tentang Hak Cipta
Bab XII Ketentuan Pidana, Pasal 27, Ayat (1), (2), dan (6)]

Monograf

**Status dan Mitigasi Dini Serangan Penyakit Pinus di
Jawa Timur**

Menuju Agroforestri Sehat Berbasis Pinus

Penyusun

Sutarman

Dosen Program Studi Agroteknologi

Fakultas Pertanian, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo

Editor ahli

Prof. Dr. Ir. Siti Rasminah Ch. Sy., MS

Editor

Dyah Satiti, MT

Penerbit

UMSIDA PRESS

P3I Universitas Muhammadiyah Sidoarjo

Kampus 1 Universitas Muhamamdiyah Sidoarjo

Jl. Mojopahit 666 B Sidoarjo, Jawa Timur, Indonesia

Telp. +62 31 8945444

Fax +62 31 8949333

<https://p3i.umsida.ac.id>

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas tersusunnya monograf yang merupakan salah satu luaran penelitian yang dimulai sejak 2014/2015 hingga akhir 2017 sesuai kompetensi penyusun di bidang kesehatan dan penyakit tanaman.

Buku ini disusun berdasarkan hasil penelitian observasi dan eksperimental serta kajian literatur yang bersumber pada berbagai artikel jurnal nasional dan Internasional relevan terkait.

Penyiapan bioteknologi bagi agroforestri berbasis model tumpangsari tanaman muda pinus dan hortikultur yang memiliki fungsi mitigasi serangan penyakit oleh *soil borne pathogen* di masa depan adalah merupakan nilai kebaruan dalam penelitian ini .

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada: Rektor Universitas Muhammadiyah Sidoarjo (UMSIDA), Dekan Fakultas Pertanian, Kepala LPPM, serta Kepala Laboratorium Agrokompleks UMSIDA atas dukungan moril dan fasilitas yang disediakan bagi kelancaran penelitian dan penyusunan buku ini.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat.

Sidoarjo, Mei 2018

Penyusun

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
BAB 1. PENDAHULUAN	1
BAB 2. TINJAUAN PENYAKIT TANAMAN	7
2.1 Penyakit Bibit Pinus	7
2.2 Epidemiologi Penyakit dan Inang Alternatif	9
BAB 3. PENGENDALIAN HAYATI	13
3.1 Tinjauan Pengendalian Penyakit Pinus	13
3.2 Trichoderma Sebagai Fungi Efektif	16
BAB 4. METODE PENELITIAN	18
4.1 Tempat dan Waktu Penelitian	18
4.2 Gejala Serangan Penyakit	18
4.3 Isoalsi dan Pengamatan Patogen	19
4.4 Profil Serangan Penyakit Pinus	20
4.4.1 Status Serangan hawar daun	21
4.4.2 Status Serangan berdasarkan ketinggian tempat	24
4.4.3 Peta Serangan Hawar Daun	24
4.5 Isolasi Trichoderma	24
4.6 Uji Daya Antagonistik Trichoderma	24
BAB 5. HASIL DAN PEMBAHASAN	29
5.1 Gejala Serangan Penyakit	29
5.1.1 Gejala hawar daun pinus	29
5.1.2 Gejala Serangan damping off	33
5.2 Hasil Isoalsi Patogen	34
5.2.1 Patogen hawar daun pinus	34
5.2.2 Patogen damping off	36
5.3 Profil Serangan Penyakit Pinus	37
5.3.1 Status Serangan hawar daun	39
5.3.2 Status Serangan berdasarkan ketinggian	

tempat	41
5.3.3 Peta Serangan Hawar Daun	47
5.4 Trichoderma Aensia Hayati Potensial	50
5.5 Uji Daya Antagonistik Trichoderma	51
5.5.1 Uji in vitro	51
5.3.2 Uji in vivo	52
5.6 Mitigasi Dini Serangan Penyakit	55
BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN	61
6.1 Kesimpulan	61
6.2 Saran	62
DAFTAR PUSTAKA	63

DAFTAR TABEL

	Halaman
1. Skor derajat serangan berdasarkan kriteria gejala hawar daun bibit pinus	22
2. Skor derajat serangan dan kategori kesehatan tegakan berdasarkan kriteria gejala hawar daun tegakan pinus	23
3. Status serangan penyakit hawar daun pada tegakan tegakan	23
4. Pengamatan rerata intensitas gejala serangan penyakit bibit pada beberapa umur	29
5. Deskripsi patogen <i>damping off</i> pada pinus	37
6. Status penyakit hawar daun pinus di wilayah pengelolaan hutan KPH Pasuruan dan KPH Malang (kawasan utama hutan pinus) Perum Perhutani Unit Jawa Timur	40
7. Hasil pengamatan status serangan penyakit bergejala hawar daun pada tanaman/tegakan <i>P. merkusii</i> pada representasi berbagai ketinggian tempat di KPH Pasuruan	42
8. Hasil pengamatan status serangan penyakit bergejala hawar daun pada tanaman/tegakan <i>P. merkusii</i> pada representasi berbagai ketinggian tempat di KPH Malang	43
9. Hasil pengamatan status serangan penyakit bergejala hawar daun pada tanaman/tegakan <i>P. merkusii</i> pada representasi berbagai ketinggian tempat	46
10. Peta serangan hawar daun pinus pada wilayah representasi kawasan hutan pinus di Jawa Timur	47

DAFTAR TABEL

	Halaman
11. Rerata persentase kejadian penyakit hawar daun bibit <i>P. merkusii</i> sebagai respons aplikasi dua isolat <i>Trichoderma</i> sebagai biopestisida dan biofertilizer pada satu bulan setelah inokulasi	53
12. Rerata persentase kejadian penyakit <i>damping off</i> kecambah <i>P. merkusii</i> sebagai respons aplikasi dua isolat <i>Trichoderma</i> di baki perkecambahan pada tiga minggu setelah inokulasi	54

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
1. Rataan mingguan curah hujan rata-rata harian (mm) di area persemaian	11
2. Rataan mingguan durasi sinar matahari mencapai tajuk (%) di area persemaian	12
3. Rataan mingguan kelembaban relatif udara rata-rata harian (%) di persemaian	12
4. Proyeksi tampilan koloni pada uji antagonistik metode <i>dual culture</i>	26
5. Gejala serangan pada bibit <i>P. merkusii</i> ; gejala serangan berat dan kematian bibit (kiri) serta “mosaic” gejala serangan pada bedeng persemaian pinus	30
6. Representasi gejala serangan hawar daun pada tanaman <i>P. merkusii</i> di lapang	31
7. Tegakan pinus yang menunjuk gejala hawar secara masif	32
8. Gejala <i>damping off</i> bibit pinus	33
9. Morfologi, koloni (pada PDA-c), dan miseium (pada tabung rekasi) patogen <i>P. theae</i> yang diisolasi dari daun bergejala hawar	35
10. Koloni dalam cawan petri dan tabung reaksi, serta konidiospora, <i>Trichoderma</i> sp. yang diambil dari Claket, KPH Pasuruan	50
11. Pertumbuhan daya hambat dua isolat <i>Trichoderma</i> sp. terhadap <i>P. theae</i> patogen hawar daun pinus	52
12. Bagan alir tahap kegiatan penelitian yang bertujuan merancang strategi mitigasi dan pengendalian hayati dalam agroforestri berbasis pinus	56

BAB 1

PENDAHULUAN

Pinus merkusii merupakan tanaman penting di Indonesia bukan hanya sebagai penghara kebutuhan industri perkayuan dan industri berbasis getah sadapan, tetapi juga berperan dalam fungsi pengendali hidrologis kawasan dan industri ekowisata. Hasil observasi yang dilakukan di berbagai klaster pertanaman pinus di sebagian pulau Jawa menunjukkan adanya kesamaan pola serangan hawar daun dan patogen penyebab penyakit yang relatif sama [1].

Status organisme penyebab penyakit hawar daun pinus dalam dua hingga tiga dekade yang lalu *sebagai* patogen lemah diduga kini sebagai bentuk adaptasi terhadap perubahan iklim berubah secara evolutif menjadi penyebab penyakit berbahaya dengan kisaran wilayah serangan bersifat meluas. Berbagai tindakan silvikultur/agronomis ternyata tidak mampu mencegahnya perkembangan gejala penyakit hawar daun terutama pada bibit *P. Mekusii* [2].

Top soil dari bawah tegakan pinus yang biasa digunakan sebagai komponen media tanam bibit telah menjadi media bagi penyebaran spora *P. theae* ke tempat persemaian [3]. Di samping itu, kemampuan patogen ini menginfeksi gulma dan tanaman pinus dewasa, serta mampu menginfeksi berbagai jenis dan strata pertumbuhan tanaman [4, 5, 6], membuat propagul *P.*

theae selalu tersedia dan menjadi ancaman yang serius bagi bibit pinus.

Interaksi antara patogen dan pertanaman *P. merkusii* termasuk inang alternatif, serta pengaruh dinamika perubahan iklim dapat mempengaruhi dan mendorong virulensi patogen dan peningkatan kerentanan tanaman yang diwujudkan dalam suatu fakta adanya peningkatan intensitas dan luas serangan hawar daun bibit pinus. Berdasarkan karakter patogenesis *P. theae* [7] dan karakter epidemiologinya [3], maka "outbreak" penyakit hawar daun pinus merupakan suatu kenisayaan yang dapat menghancurkan sistem penyiapan permudaan *P. merkusii*, yang berarti merupakan ancaman serius bagi kelangsungan dan kelestarian hutan pinus di Jawa Timur dan sekitarnya pada khususnya serta di hutan pinus lainnya di Indonesia.

Saat ini dalam rangka mewujudkan dan meningkatkan ketahanan pangan, maka intensifikasi budidaya tanaman pertanian tidaklah memadai. Di Indonesia dari 191,09 juta Ha lahan pertanian sebesar 67,2% adalah lahan kering serta terdapat 12,01 juta hektare tegal atau kebun yang kurang produktif dan 11,7 juta hektare lahan tidur yang belum dimanfaatkan [8]. Namun demikian ekstensifikasi atau pembukaan lahan bagi pengembangan pertanaman pangan bukan hal yang mudah. Selain dihadapi oleh masalah status lahan juga karena berbagai tantangan dalam usaha pertanian lahan kering di antaranya adalah:

kemasaman atau pH tanah yang rendah, kapasitas tukar kation yang rendah, kekahatan P, cekaman air [9].

Pemanfaatan lahan perkebunan dan lahan hutan yang didominasi oleh pohon dan tegakan untuk pengembangan peranaman pangan adalah dengan mengimplementasikan berbagai variasi teknologi agroforestri. Persoalan yang muncul pada sistem agroforestri dengan tanaman pokok memiliki tajuk yang menaungi tanaman di bawahnya adalah intensitas sinar matahari yang rendah. Untuk mengatasi cekaman naungan, maka berbagai penelitian telah yang bertujuan menghasilkan tanaman pangan tahan naungan.

Sistem agroforestri berbasis pinus akan menguntungkan bagi upaya peningkatan produktivitas lahan jika pertanaman pinus dalam kondisi sehat. Hutan pinus di Jawa Timur berperan penting dalam pengaturan hidrologi kawasan [11] dan menjadi penyangga kehidupan masyarakat baik di bagian hulu maupun hilir. Idealnya produksi tanaman pangan terjaga namun produktivitas pertanaman pinus juga tetap optimal. Pada wilayah yang saat ini merupakan kawasan hutan pinus sudah dimaklumi memiliki manfaat yang sangat besar bagi keajegan: produksi kayu, produksi getah-getahan penghara berbagai industri, penghasil dan penopang industri wisata alam, serta pendukung utama terciptanya sistem hidrologis hutan yang menjamin ketersediaan air bagi kehidupan manusia.

Salah satu pengancam kelestarian hutan pinus adalah gangguan patogen penyebab penyakit. Bibit yang gagal diproduksi akan menyebabkan kegagalan penanaman kembali pinus yang ditebang karena sudah melewati umur daur. Tanaman muda dan tegakan pinus yang selalu mendapat tekanan penyakit akan dapat mengancam eksistensi dan kelestarian hutan pinus di Jawa. Bibit dan tanaman pinus yang terinfeksi penyakit juga akan menjadi menghasilkan propagul infeksi yang dapat menyerang dan merusak tanaman pertanian di dalam sistem agroforestri dan/atau pada tanaman pertanian di sekitar kawasan hutan pinus.

Dengan pertimbangan bahwa dalam 2-3 dasawarsa terakhir telah terjadi fluktuasi iklim yang ekstrim, maka tentunya akan berdampak pada kehidupan organisme termasuk penurunan ketahanan tanaman terhadap cekaman lingkungan dan sebaliknya berdampak pada peningkatan virulensi patogen.

Untuk itu perlu dipelajari secara seksama dampak perubahan iklim terhadap kehidupan organisme. Hawar daun pinus misalnya sebelum tahun 1990-an dianggap patogen minor, tetapi awal 2000-an di Jawa Barat dan Jawa Tengah menimbulkan gangguan berat pada kesehatan bibit tanaman dan menghasilkan propagul infeksi ketika menyerang tanaman dewasa atau tegakan [1]. Saat ini perlu dievaluasi status serangan penyakit ini khususnya di Jawa Timur dan lebih spesifik di kawasan utamanya hutan pinus di mana di dalamnya telah dikembangkan

sisten agroforestri yang berbasis pada tumpang sari pinus dan tanaman hortikultur strategis.

Di lain pihak, saat ini penggunaan pestisida seringkali tidak efektif mencegah kerusakan dan penyebaran penyakit. Kesadaran yang mulai meningkat di kalangan konsumen sayuran dan produk pangan, maka berbagai upaya untuk mensubstitusi pestisida merupakan tantangan yang memerlukan jawaban sesegera mungkin.

Pemanfaatan *Trichoderma* yang diambil dari lahan hutan merupakan salah satu harapan bagi upaya pengembangan agroforestri yang sehat tanpa pestisida kimia. Saat ini banyak penelitian pemanfaatan *Trichoderma*, namun sebagian terbesar pada ranah komodiats pertanian. Untuk itu perlu lebih ditumbuhkembangkan penelitian pemanfaatan *Trichoderma* untuk dapat memberikan sumbangan bagi penciptaan agroforestri yang sehat.

Penelitian pemanfaatan *Trichoderma* untuk pengendalian *damping off* pada fase perkecambahan pinus telah terkonfirmasi [12] dan menunjukkan prospek yang menjanjikan pada tahap implementasinya. Sementara itu telah dilakukan pula pengujian potensi fungi *Trichoderma* yang bersifat *soil borne* sebagai agen biokontrol dalam ranah *air borne* agar mampu mengatasi gangguan penyakit busuk lada bukan hanya di dalam tanah dan di pangkal batang tetapi lebih tinggi lagi mendekati tajuk [13]. *Trichoderma* sp yang berasal dari lahan hutan ternyata

juga menunjukkan kemampuannya sebagai agensia pengendali hayati di permukaan daun bibit kakao [14].

Dengan berbagai pertimbangan nilai pentingnya fungi efektif dan potensi ancaman patogen di area hutan pinus, maka sangat diperlukan penelitian komprehensif yang bersifat menguji kinerjanya dalam melindungi kesehatan tanaman pinus sekaligus tanaman hortikultur strategis yang biasa dikembangkan di kawasan hutan pinus.

Penelitian ini bertujuan untuk memberikan gambaran tentang prospek pengendalian penyakit utama pinus yang meliputi:

- a. Mengetahui dan mendeskripsikan gejala penyakit pinus terutama hawar daun dan *damping off* di kawasan hutan pinus Jawa Timur;
- b. Mengetahui dan mendeskripsikan patogen penyakit pinus terutama hawar daun dan *damping off* di kawasan hutan pinus Jawa Timur;
- c. Mengetahui penyebaran penyakit hawar daun bibit dan tajuk tegakan pinus di Jawa Timur;
- d. Mengetahui daya hambat *Trichoderma* yang diisolasi dari area persemaian baik secara *in vitro* dan *in vivo* terhadap patogen utama penyakit pinus;
- e. Menjelaskan strategi mitigasi dini serangan penyakit pinus di Jawa Timur.

BAB 2

TINJAUAN PENYAKIT TANAMAN

2.1 Penyakit Bibit Pinus

Sejauh ini penyakit *Pinus* di Indonesia khususnya di Jawa yang sudah diungkap adalah pada tingkat bibit yaitu: damping-off yang disebabkan oleh *Rhizoctonia* sp. dan *Fusarium* sp. yang menyerang benih yang akan berkecambah sampai bibit berumur 2 bulan [15] dan hawar daun bibit yang disebabkan oleh *Pestalotia theae* [7].

Pada awal ditemukannya penyakit ini, diduga adanya keterlibatan fungi *Pestalotia* sp. dan *Fusarium* sp. dalam serangan terhadap bibit pinus hingga menimbulkan kematian di pusat pesemaian Perhutani Unit I Jawa Tengah (di Majenang – Cilacap, 1999). Tidak ada data intensitas serangan dan kerugiannya, namun persemaian pinus terpaksa dipindah ke tempat dengan ketinggian \pm 600 m dpl. Ketinggian tempat, yang berarti berbeda kondisi cuaca, diduga mempengaruhi virulensi patogen dan/atau ketahanan bibit. Penelitian pendahuluan mengenai penyakit bibit pinus dilakukan di persemaian Bagian Mikrobiologi Litbang Kehutanan, Dep. Kehutanan RI (1999-2000). Hasil isolasi meyakinkan peneliti bahwa *Pestalotia* sp. dan *Fusarium oxysporum* yang bertanggung-jawab terhadap kemunculan penyakit hwar daun.

Fusarium yang semula diduga kuat sebagai penyebab hwar daun pinus, ternyata terbukti tidak konsisten menyebabkan gejala hwar; *Pestalotia* sp justeru

konsisten menyebabkan hawar daun baik melalui kegiatan isolasi dan pengujian patogenisitas yang dilakukan di Bogor maupun di Cianjur [2], Bibit pinus umur 2-4 minggu setelah penyapihan (overspin) sudah dapat terserang hawar daun [7]. Gejala hawar bukan hanya pada persemaian, tetapi banyak dijumpai pada tanaman pinus tingkat pohon namun tidak menimbulkan kematian tanaman. Pohon pinus akan menjadi inang efektif bagi patogen yang akan menjadi ancaman serius.

Fungi *Pestalotia sp.* bukan hanya menimbulkan gejala hawar pada pucuk tetapi infeksi dapat menjalar ke pangkal daun dan menyerang seluruh daun serta dapat menyebabkan kematian bibit sebelum siap ditanam ke lapang. Namun demikian patogen ini kurang dikenal oleh segenap pemangku kepentingan pengelolaan hutan dan pelaksana sistem agroforestri. Publikasi tentang patogen ini dan kerusakan yang ditimbulkannya sangat minim.

Hingga tingkat spesies jenis patogen hawar daun sudah teridentifikasi. *Pestalotia theae* yang menyebabkan hawar daun bibit pinus adalah isolat yang diperoleh dari persemaian Perum Perhutani (di Pongpoklandak-Cianjur, Jawa Barat) yang secara morfologi terdeskripsi sebagai berikut: ukuran konidiospora $24,30\ \mu\text{m} \times 7.19\ \mu\text{m}$ dan terdiri atas lima sel; sel apikal memiliki 2-3 setul hialin dan sel basal tampak seperti ekor konidia [7].

Gejala penyakit muncul mula-mula pada bagian ujung tajuk yang masih muda, kemudian diikuti oleh mengeringnya tajuk tersebut dan akhirnya bibit mati [16].

Dari ujung daun yang berwarna kecoklatan, infeksi kemudian berkembang ke arah pangkal; pada bagian daun yang kering karena terinfeksi sering dijumpai bintik-bintik hitam yang muncul dari bawah epidermis yang merupakan kumpulan konidiospora yang dihasilkan dari aservulus [2].

Sementara itu pada daun lebar gejala serangan *Pestalotia*, awalnya terjadi bercak-bercak coklat memanjang pada ujung dan tepi daun serta yang kemudian bercak-bercak tersebut berkembang dan berhubungan atau menyatu [6]. Deskripsi dimaksud sesuai dengan yang deskripsi patogen yang ditemukan pada daun gulma *Paspalum conjugatum* inang alternatif *P. theae* di sekitar persemaian pinus [3].

Berdasarkan karakteristik perkembangan gejalanya, *P. theae* menembus dinding sel dengan mengatasi halangan fisik berupa senyawa-senyawa kutin, selulosa, dan pektin; ini merupakan mekanisme umum patogen untuk melakukan infeksi dan penetrasi dinding sel harus memproduksi enzim pendegradasi senyawa-senyawa tersebut [17]. Dari pengamatan mikroskopis struktur jaringan yang menunjukkan gejala dan pengujian aktivitas enzim pektinolitik dan enzim selulolitik [7] menunjukkan bahwa patogen mampu melakukan infeksi dan penetrasi tanpa melalui luka.

2.2 Epidemiologi Penyakit dan Inang Alternatif

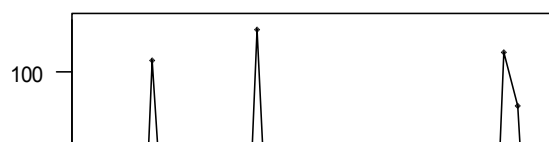
Lingkungan baik biotik maupun abiotik akan sangat berpengaruh terhadap patogen dan inang. Kelembaban nisbi udara bersama-sama dengan kebasahan daun

berpengaruh terhadap produksi dan pelepasan inokulum [18]. Perbedaan suhu akan mempengaruhi kemampuan memproduksi dan perkecambahan konidia fungi serta kemampuan infeksi [19]. Kelembaban udara yang direpresentasikan melalui kebasahan daun dan interaksinya dengan periode kebasahan daun akan mempengaruhi perkembangan dan perkecambahan spora [20, 21].

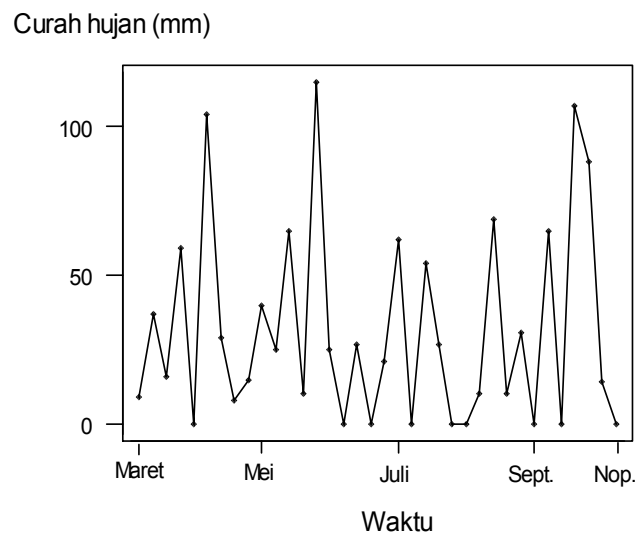
Meskipun pada model epidemi *P. theae* peran spora tidak signifikan dalam meningkatkan indeks penyakit bibit *P. merkusii* [7] sekaligus menunjukkan bahwa patogen ini bukan tipe patogen tular udara, namun eksistensi konidiospora menjadi penting dalam proses inisiasi serangan penyakit. Konidiospora dapat dihasilkan dari daun inang yang terinfeksi dan jatuh ke tanah untuk selanjutnya tersebar melalui mekanisme percikan air hujan hingga mencapai inang yang baru. Dua jenis gulma penting di pesemaian pinus yaitu *Paspalum conjugatum* dan *Ageratum conyzoides* menjadi inang alternative bagi *P. theae* di pesemaian pinus [3]. Tumbuhan gulma dapat terinfeksi patogen dan sekaligus sebagai sarana mempertahankan eksistensinya di area pesemaian [22]. *Top soil* sebagai komponen media tumbuh kaya bahan organik serasah daun pinus dan mengandung propagul infeksius patogen yang dapat bertahan-hidup lama [23].

Komponen cuaca sangat berpengaruh terhadap kemunculan dan pertumbuhan gejala penyakit tanaman.

Curah hujan (mm)

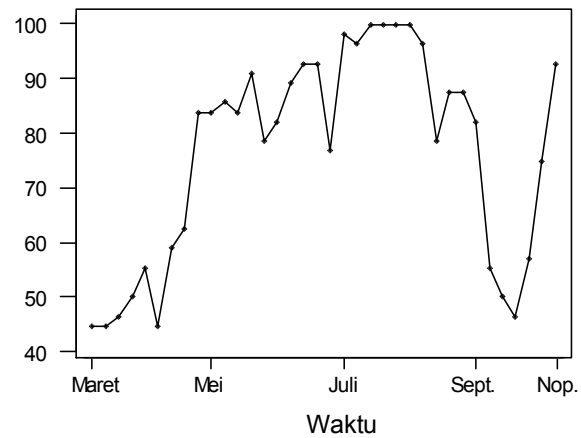


Hasil penelitian epidemiologi yang mengukur konsentrasi konidiospora di udara dan berbagai komponen cuaca harian di persemaian pinus menunjukkan bahwa curah hujan (**Gambar 1**), durasi sinar matahari mencapai tajuk (**Gambar 2**), dan kelembaban relatif udara (**Gambar 3**) berpengaruh nyata dalam peningkatan indeks penyakit hawar daun pinus [3].



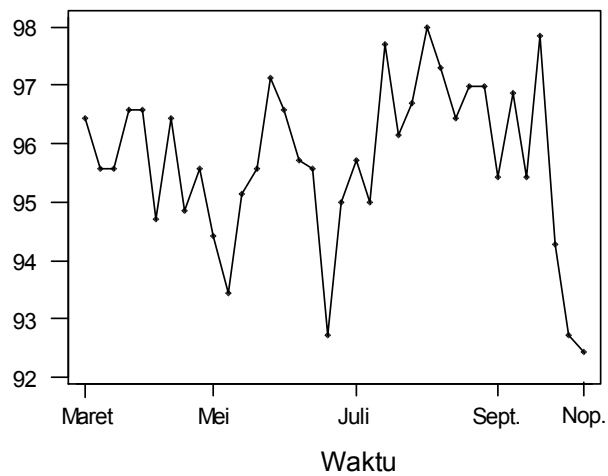
Gambar 1. Rataan mingguan curah hujan rata-rata harian (mm) di area persemaian [3]

Lama penyinaran (%)



Gambar 2. Rataan mingguan durasi sinar matahari mencapai tajuk (%) di area persemaian [3]

Kelembaban nisbi udara (%)



Gambar 3. Rataan mingguan kelembaban relatif udara rata-rata harian (%) di persemaian [3]

BAB 3

PENGENDALIAN HAYATI

3.1 Tinjauan Pengendalian Penyakit Pinus

Penelitian pengendalian penyakit pada bibit pinus relatif khususnya yang memanfaatkan mikroorganisme efektif belum banyak dilakukan.

Selain determinasi jenis patogen penyebab hawar daun bibit, yaitu *P. theae*, ada beberapa aspek penting yang relative sangat kurang mendapat perhatian bagi “stake holder” pembangunan hutan tanaman berbasis pinus yaitu: (i) analisis kehilangan hasil: 50 % bibit mati dan sisanya bibit berkualitas rendah serta kegagalan penanaman di lapang sampai 75 %, (ii) inang alternative di pesemaian yaitu: pinus umur 5-8 tahun dan gulma [24]; dan (iii) penggunaan fungisida *banlate* dan *difenoconazol* relative tidak dapat memulihkan tanaman sakit. Sejauh ini pihak *stake holder* belum pernah melakukan penilaian kerusakan akibat penyakit. Gulma yang terserang tidak mengalami kematian sehingga berpotensi melangsungkan siklus penyakit. Penggunaan fungisida tidak direkomendasikan.

Pengendalian penyakit pinus non pestisida kimia memiliki prospek cerah bukan hanya dimulai dari keberhasilan percobaan aplikasi *Trichoderma* terhadap patogen damping off [12]. *Trichoderma* mampu meningkatkan kinerjanya setelah diinkubasi dalam ekstrak kompos. *Trichoderma* spp. yang sudah diperam dalam ekstrak kompos selama 9 hari dan disemprotkan ke

permukaan daun apel yang kemudian diinokulasi spora patogen *M. soronaria*, ternyata menurunkan intensitas bercak daun yaitu dari 70 % (pada kontrol) menjadi 30-46 % pada perlakuan yang menggunakan *Trichoderma* [25].

Di lain pihak peneliti penyakit pinus sudah terlebih dahulu melakukan kajian tentang damping off pada kecambah atau bibit awal pinus. *T. harzianum* dan *T. pseudokoningii* yang diisolasi dari pesemaian pinus secara sendiri-sendiri mampu mereduksi kejadian penyakit damping-off dari 100 % menjadi 37,5 % dan 70 % (pada *Rhizoctonia solani*) 27,5 % dan 55,5 % (pada *Fusarium oxysporum*) sampai 10 minggu sesudah penyapihan (MSP) tanpa menghambat perkembangan ektomikoriza di perakaran bibit [12].

Meskipun dipercaya fungi ektomikoriza membantu kinerja pertumbuhan tanaman, namun kadang ditemui fakta agak berbeda. *Schleroderma columnare* dan *Pisolithus arrhizus* (simbion terbaik pada akar bibit pinus) tidak mampu mencegah perkembangan penyakit bibit umur 4 bulan yang diinokulasi pathogen. Kasus penyakit terjadi di pusat persemaian pinus Perhutani Unit III Jawa Barat. Ini menunjukkan bahwa patogen berpotensi sebagai penyakit yang berbahaya di masa mendatang [2].

Penelitian ini juga menjadi salah satu pertimbangan peluang menggunakan *Trichoderma* sebagai agen biokontrol pengendali patogen yang menyerang tajuk pinus.

Pemanfaatan *Trichoderma* yang diformulasi dalam bahan organik memiliki potensi dalam menurunkan keparahan tanaman. *T. harzianum* mampu mendekomposisi bahan organik lebih lanjut sehingga menghasilkan nutrisi dan berbagai metabolit yang mampu menginduksi ketahanan tanaman lada yang terinfeksi patogen penyebab busuk pangkal batang [13]. Penerapan pada bibit pinus sangat memungkinkan karena media tanam bibit selalu menggunakan top soil dari bawah tegakan pinus yang kaya bahan organik.

Penggunaan ektomikoriza bertujuan meningkatkan ketahanan tanaman; bibit bermikoriza menunjukkan indeks penyakit lebih rendah dari bibit tidak bermikoriza. Kasus penyakit di Yogyakarta/Jawa Tengah. Aplikasi mikoriza diharapkan dapat mencegah perkembangan penyakit. Potensi ektomikoriza untuk digunakan dalam menghambat aktivitas patogen dan menurunkan intensitas gejala penyakit [16] perlu dipertimbangkan.

Kecambah konidiospora *P theae* mempenetrasi jaringan daun melalui lubang stoma untuk kemudian menginfeksi dengan bantuan enzim pektinolitik dan selulolitik yang dihasilkannya. Kotiledon bibit umur 2-4 minggu sudah dapat terserang sejalan dengan mulai menurunnya aktivitas peroksidase sebagai enzim pertahanan bibit. Kerentanan kotiledon terjadi pada saat periode damping-off berlangsung dan pada saat yang sama *Trichoderma* berpotensi menekan patogen di permukaan tanah [7].

3.2 *Trichoderma* Sebagai Fungi Efektif

Pemanfaatan peran *Trichoderma* untuk pengendalian penyakit bukan hanya aspek antagonistiknya saja, tetapi sebagian diarahkan memanfaatkan perannya dalam menginduksi respons tahan tanaman baik secara lokal maupun sistemik terhadap patogen dan stress lingkungan di samping fungsi dekomposisi bahan organik membantu suplai nutrisi bagi tanaman [26, 27].

Inventarisasi *Trichoderma* di bawah tegakan pinus relative belum dilakukan secara ekstensif padahal tanah lapisan atas tapak pertanaman pinus kaya residu tanaman. Hasil isolasi pada tanah di salah satu persemaian pinus di Bogor [15] diperoleh *T. harzianum* dan *T. pseudokoningii* yang selanjutnya digunakan untuk pengujian efek antagonisme terhadap patogen *damping off*. Oleh karenanya hasil inventarisasi dapat dimanfaatkan bagi kebutuhan penelitian pengendalian hawar daun bibit pinus non kimia yang lebih operasional.

Potensi *Trichoderma* sebagai agensia pengendali hayati *P. theae* sangat besar mengingat meski sebagai patogen tular udara namun perilaku penyebarannya lebih mendekati patogen tular tanah. Percikan ketika penyiraman dan/atau hujan memungkinkan patogen bersama-sama dengan spora *Trichoderma* akan tersebar ke permukaan daun yang berkelembaban tinggi dan berinteraksi secara antagonistik [3].

Berbagai karakter *Trichoderma* yang membuatnya sangat potensial sebagai agen biokontrol, adalah:

kecepatan tumbuh yang tinggi dan mampu memanfaatkan berbagai bahan organik dalam rangka memanfaatkan sumber energinya [28], memiliki kemampuan berkompetisi dan sekaligus sebagai parasit bagi fungi patogen [29], menghasilkan antibiotik [30], serta menghasilkan berbagai enzim yang dapat menghambat patogen [31] termasuk menghasilkan enzim kitinase yang dapat merusak dinding sel fungi patogen [32].

Trichoderma juga dapat bertindak sebagai biofertilizer karena kemampuannya menghasilkan nutrisi dari proses degradasi bahan organik dan menghasilkan senyawa ekstraselular yang berperan sebagai hormon bagi tanaman seperti auksin dan turunannya [33, 34].

BAB 4

METODE PENELITIAN

4.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Lokasi pengambilan sampel ditentukan dengan pertimbangan sebagai berikut:

- (i) Lokasi harus berada di lahan hutan tanaman pinus dan sekitarnya yang memungkinkan untuk diimplementasikannya agroforestri berbasis tumpangsari pinus (tanaman hutan) dan hortikultur (tanaman pertanian);
- (ii) Lokasi secara memiliki karakter agroklimatologi yang sesuai bagi pertanaman tumpangsari pinus dan hortikultur; ini biasanya berada di ketinggian di atas 300-1.600 m dpl.
- (iii) Lokasi hutan pinus memiliki persemaian atau setidaknya memiliki lokasi yang bisa dan pernah menjadi tempat persemaian. Lokasi seperti ini biasanya dekat dengan sumber air atau penampungan air.

Untuk observasi dan pengambilan contoh tanaman dilakukan di KPH Malang, KPH Probolinggo, dan KPH Pasuruan, KPH Jember, KPH Banyuwangi, KPH Bondowoso, dan berbagai wilayah kesatuan pemangkuan hutan lainnya yang memiliki kelas usaha penanaman *Pinus merkusii* dalam koordinasi Perum Perhutani Divisi Regional II Jawa Timur. Waktu pelaksanaan mulai Pebruari-Desember 2015; pengamatan terhadap keajegan penyebaran penyakit hawar daun bibit pinus serta uji in

vivtro dan in vivo terbatas dilakukan pada September-Nopember 2016 dan 2017.

4.2 Gejala Serangan Penyakit

4.2.1 Gejala hawar daun pinus

Pengamatan gejala dilakukan terhadap bibit sejak pasca damping off yaitu mulai satu bulan hingga tanaman siap tanam ke lapang di persemaian serta representasi tanaman muda hingga pada tegakan di wilayah pemangkuan hutan KPH Pasuruan dan KPH Malang.

4.2.2 Gejala serangan damping off

Pengamatan damping off pada pinus dimulai sejak dua minggu penaburan benih hingga benih berumur 3-4 minggu setelah penaburan. Pengamatan dilakukan terhadap performa individu kecambah pinus.

4.3 Isolasi dan Pengamatan Patogen

4.3.1 Patogen hawar bibit pinus

Isolasi dan mendokumentasikan karakteristik morfologi *P. theae*. Fungi patogen yang sudah terbukti menyebabkan gejala hawar daun jarum bibit *P. merkusii* di pesemaian diisolasi dari daun yang menunjukkan gejala sakit. Potongan daun (ukuran 5 mm) yang menunjukkan gejala ditempatkan pada media PDA-cholramphenicol [35] dan disimpan pada suhu kamar. Pertumbuhan dan morfologi hifa serta kemunculan aservuli patogen diamati di bawah mikroskop untuk memastikan jenis patogen penyebab hawar daun.

4.3.2 Patogen damping off

Bagian batang kecambah yang menunjukkan kondisi busuk dipotong dengan silet sedemikian rupa sehingga menghasilkan potongan mengandung sedikit bagian yang busuk namun didominasi oleh bagian yang mulai terserang hingga sehat. Selanjutnya potongan tersebut distrilisasi dengan cara menyelupkan ke dalam alkohol 50% selama 3 detik dan membilasnya sebanyak 3 kali di dalam air steril. Setelah ditiriskan, potongan ditempatkan ke dalam media PDA-c dan diinkubasi selama satu minggu. Pengamatan dilakukan terhadap koloni patogen.

4.4 Profil Serangan Penyakit Pinus

Profil seranga ditentukan dengan mengamati gejala serangan tanaman dan kondisi lingkungan yang menyertainya. Pada penelitian ditentukan sedikitnya 24-28 lokasi pengamatan yang merupakan representasi kawasan hutan pinus di Jawa Timur. Untuk tiap lokasi, maka dilakukan pengacakan petak dan kelompok pertanaman muda atau bibit yang akan diamati gejala serangan penyakitnya.

Dalam pelaksanaan pengamatan profil serangan penyakit dilakukan pencatatan data pendukung yaitu: suhu dan kelembaban, ketinggian tempat, dan topografinya.

Pengamatan status penyakit hawar daun dan potensi serangan meliputi pengamatan: umur tanaman terinfeksi, gejala infeksi pada bibit atau anakan, gejala infeksi pada tanaman tingkat pancang dan pohon. Untuk gejala

penyakit pada tingkat permudaan alami dan tanaman muda umur di bawah 2 tahun dan bibit di persemaian ditentukan dengan menggunakan rumus (1) dan kriteria seperti tertera pada Tabel 1 [36].

4.4.1 Status serangan hawar daun

Untuk menentukan status serangan penyakit hawar daun pinus pengamatan dilakukan di Kesatuan Pemangkuan Hutan (KPH Malang dan KPH Pasuruan yang merupakan kawasan utama hutan pinus di Jawa Timur. Di KPH Malang dipilih beberapa Bagian Kepemangkuan Hutan (BKPH) yang diamati yaitu: Pujon, Ngantang, Singosari, Kepanjen, Tumpang, Lawang Barat, Lawang Timur, Bambang Utara, dan Dampit. Untuk KPH Pasuruan diamati beberapa BKPH, yaitu: Celaket, Kemiri, Jatirejo, dan Tosari. Pada masing-masing BKPH ditentukan Resort Pemangkuan Hutan (RPH) yang memiliki persemaian dan atau memiliki representasi ekologi. Selanjutnya untuk tiap RPH, ditentukan status serangan persemaian dan status serangan di petak-petak tertentu di tegakan kawasan hutan. Untuk persemaian ditentukan indeks penyakit dengan ketentuan mengacu pada rumus (1) [36].

$$IP = \frac{\sum_{i=1}^{k=4} (in_i)}{N.k} \times 100\% \quad (1)$$

Dengan pengertian:

IL = Indeks luka

i = nilai numerik (skor) bibit dan/atau tanaman muda dengan kriteria gejala serangan yang bersangkutan

n_i = jumlah bibit dan/atau tanaman muda dengan kriteria gejala serangan yang bersangkutan

N = jumlah bibit dan/atau tanaman muda yang diamati

k = nilai numerik (skor) tertinggi dengan kriteria gejala serangan terberat.

Penentuan skor gejala hawar daun masing-masing kelompok bibit dan/atau tanaman muda didasarkan kriteria pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Skor derajat serangan berdasarkan kriteria gejala hawar daun bibit pinus [36]

Skor	Kriteria gejala
0	Tidak ada gejala hawar daun
1	Sampai 1/3 bagian tajuk dengan ujung-ujung dan/atau bagian tengah daunnya menguning
2	Antara 1/3-2/3 bagian tajuk dengan ujung-ujung dan/atau bagian tengah daunnya menguning dan/atau sampai 1/3 bagian tajuk dengan ujung-ujung dan/atau bagian tengah daunnya coklat mengering
3	Lebih dari 2/3 bagian tajuk dengan ujung-ujung dan/atau bagian tengah daunnya menguning dan/atau sampai 1/3-2/3 bagian tajuk dengan ujung-ujung dan/atau bagian tengah daunnya coklat mengering
4	Lebih dari 2/3 bagian tajuk dengan daun-daun coklat mengering hingga tanaman mati

Untuk mengetahui apakah tegakan pinus berstatus terserang, maka ditentukan minimal 100 pohon berbagai umur untuk tiap petak dalam sistematika Perhutani. Penentuan skor dengan menggunakan kriteria seperti

tertera pada **Tabel 2**, yang kemudian dimasukkan dalam persamaan (1) namun dengan rentang skor 0-5.

Tabel 2. Skor derajat serangan dan kategori kesehatan tegakan berdasarkan kriteria gejala hawar daun tegakan pinus

Skor	Kriteria gejala	Kategori
0	Tidak ada gejala hawar daun	Sehat
1	Sampai $\frac{1}{4}$ bagian tajuk dengan daunnya menguning atau ujung-ujungnya coklat kering	Sangat ringan
2	Antara $\frac{1}{4}$ - $\frac{1}{2}$ bagian tajuk dengan daunnya menguning atau ujung-ujungnya coklat kering mencapai $\frac{1}{4}$ bagian	Ringan
3	Sampai $\frac{1}{4}$ bagian tajuk dengan daunnya coklat mengering dan titik tumbuhnya mengering	Sedang
4	Antara $\frac{1}{4}$ hingga $\frac{2}{3}$ tajuk mengering dan titik tumbuh tunas mati	Cukup berat
5	$\frac{3}{4}$ bagian hingga seluruh daun tajuk coklat mengering hingga tanaman mati	Berat

Setelah ditentukan skor gejala serangan dan diperoleh indeks penyakit, maka ditentukan status seragan dengan mengacu pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Status serangan penyakit hawar daun pada tegakan

Indeks penyakit	Kategori
Antara 0 hingga 10	Sehat
➤ 10-15	Sangat ringan
➤ 15-25	Ringan
➤ 25-40	Sedang
➤ 40-65	Cukup berat
Lebih dari 65	Berat

4.4.2 Status serangan berdasarkan ketinggian tempat

Berdasarkan data ketinggian tempat, maka disusun status serangan hawar daun bibit dan tegakan berdasarkan ketinggian tempat.

4.4.3 Peta serangan hawar daun

Peta serangan ditentukan dengan mengambil petak representatif dari masing-masing KPH dan BKPH di wilayah Jawa Timur yang memiliki kelas usaha pinus.

4.5 Isolasi *Trichoderma*

Isolasi *Trichoderma* dari tanah lapisan atas di bawah tegakan pinus dan/atau di tapak pesemaian di representasi kawasan utama pinus Jawa Timur yaitu di Claket (representasi KPH Pasuruan) dan di Pujon Selatan (representasi KPH Malang). Isolat diperoleh dari biakan murni hasil isolasi dari contoh tanah dan/atau bahan organik [37, 27]. Selanjutnya dilakukan inventarisasi isolat yang didasari pada hasil pengamatan morfologi struktur makroskopis maupun mikroskopis konidiosporan dan struktur hifa. Perbanyakan isolat *Trichoderma* dilakukan dengan menumbuhkannya pada media PDA-c selama 2 minggu dan siap digunakan untuk pengujian in vitro dan in vivo.

4.6 Uji Daya Antagonistik *Trichoderma*

Masing-masing Isolat *Trichoderma* yang diperoleh dan ditumbuhkan pada media PDA dengan posisi berhadapan dengan *P. theae* (patogen hawar daun) dengan metode

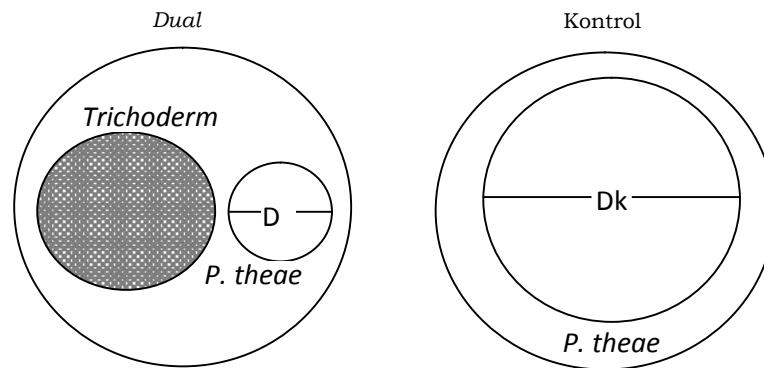
dual culture yang proyeksinya diilustrasikan pada Gambar 3. Kultur isolat uji baik patoge maupun *Trichoderma* dicuplik menggunakan *cookborrer* diameter 5 mm, lalu dipindahkan dengan jarum ose ke media PDA-c untuk diletakan berpasangan dalam cawan petri berisi media PDA dengan jarak setengah diameter cawan petri dan masing-masing berjarak seperempat diameter cawan petri ke tepi cawan petri. Untuk kontrol patogen, cuplikan kultur isolat patogen ditempatkan di tengah-tengah cawan petri. Semua kultur uji dalam media diinkubasi pada suhu ruang. Pengamatan dilakukan pada 40, 60, dan 80 jam setelah inokulasi, dengan cara mengukur panjang lintasan pertumbuhan koloni isolat fungi patogen kearah tegak lurus koloni *Trichoderma* dan dibandingkan dengan kontrol, yaitu patogen yang dikulturkan tanpa agensia hayati. Pengamatan dilakukan terhadap:

- (i) Daya hambat *in vitro* dengan mengukur daya penghambatan terhadap patogen dihitung dengan rumus (2):

$$Pp = \frac{a - b}{a} \times 100 \dots\dots\dots (2)$$

Dengan ketentuan: Pp adalah daya penghambatan (%), a dan b masing-masing adalah jari-jari koloni patogen tanpa agen biokontrol (kontrol) dan jari-jari koloni patogen hawar daun yang disandingkan dengan *Trichoderma*.

Pengukuran diameter terhadap pertumbuhan koloni pathogen untuk memenuhi perhitungan seperti tertera pada Rumus (2) mengacu pada proyeksi seperti diilustrasikan pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Proyeksi tampilan koloni pada uji antagonistik metode *dual culture*; Dp = diameter koloni patogen hawar daun (*P. theae*) yang disandingkan dengan *Trichoderma*; Dk = diameter koloni *P. theae* kontrol

Keseluruhan isolat *Trichoderma* dominan dari tiap lokasi diuji daya hambatnya secara *in vitro* terhadap patogen yang pengujian tiap isolatnya diulang sebanyak 3 kali.

- (ii) Daya hambat *in vivo* terhadap hawar daun dengan menghitung persentasi bibit yang terserang dari total populasi pada saat dua minggu setelah inokulasi. gejala seragan hawar daun yang ditunjukkan pada saat itu adalah masuk dalam kategori gejala penyakit skor 1 (0-4) [36]. Dalam percobaan ini ditentukan lima macam perlakuan

yaitu: (1) aplikasi *Trichoderma* sp isolat Tc-Clkt-02 sebagai biopestisida, (2) aplikasi *Trichoderma* sp isolat Tc-Clkt-02 sebagai biopestisida, (3) aplikasi *Trichoderma* sp isolat Tc-Clkt-02 sebagai biofertilizer, (4) aplikasi *Trichoderma* sp isolat Tc-Clkt-02 sebagai, dan (5) kontrol yaitu bibit tidak diinokulasi *Trichoderma* baik sebagai biopestisida maupun biofertilizer. Patogen hawar daun tidak diinokulasi tapi secara alami akan terinokulasi di persemaian. Untuk perlakuan biopestisida, suspensi *Trichoderma* masing-masing isolat dengan kepadatan rata-rata konidiospora 10^7 per ml diinokulasi langsung dengan cara mengoleskannya ke permukaan daun bibit umur 2 bulan yang sehat (tanpa gejala) di persemaian Celaket. Adapun pada perlakuan biofertilizer, suspensi *Trichoderma* diformulasi sebagai kompos sekam dengan total populasi konidiospora 10^7 per gr dengan dosis per polibag 250 gr sebanyak 25 gr kompos-biofertilizer *Trichoderma*, Tiap perlakuan (isolat) diulang 4 kali dan tiap satuan percobaan mengandung 40-50 tanaman.

- (iii) Daya hambat in vivo di perkecambahan dengan menghitung persentase kecambah yang menunjukkan gejala *damping off* pada saat tiga minggu setelah inokulasi atau setelah pengecambahan benih. Tahap pertama benih yang baik (tenggelam ketika direndam selama 24 jam)

digunakan sebagai bahan percobaan. Dalam percobaan ini ditentukan lima macam perlakuan yaitu: (1) kontrol, benih ditabur ke permukaan media dalam baki perkecambahan yang merupakan tanah top soil yang berasal dari bawah tegakan pinus (prima kesehatannya) dan tampak miselium ektomikoriza putih diagregat halus tanahnya, (2) benih dilumuri suspensi propagul *Trichoderma* isolat Tc-Jjr-02 sebelum ditabur, (3) benih dilumuri suspensi propagul *Trichoderma* isolat Tc-Pjn-01 sebelum ditabur, (4) dan (5) sama seperti (2) dan (3) tapi medianya berupa pasir steril tanpa top soil yang mengandung ektomikoriza. Pertimbangan digunakannya *Trichoderma* isolat Tc-Jjr-02, karena isolat tersebut adalah *T. harzianum* (koleksi Lab Mikrobiologi UMSIDA) yang sudah teruji lebih efektif berdasarkan uji terdahulu pada percobaan lain (belum terpublikasi) dibandingkan dengan isolat Tc-Clkt-02 dan Tc-Pjn-02. Isolat Tc-Pjn-02 tetap digunakan karena dalam penelitian ini diharapkan diperoleh informasi sejauhmana fungi antagonis indigen dapat berperan di tempat asalnya.

BAB 5

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Gejala Serangan Penyakit

5.1.1 Gejala hawar daun pinus

Hasil pengamatan di persemaian representasi KPH Pasuruan dan KPH Malang terhadap indeks penyakit bibit pinus masing-masing dapat dilihat pada **Tabel 4**.

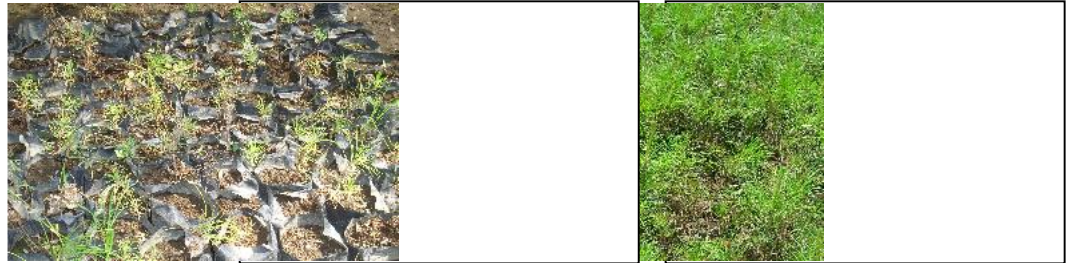
Tabel 4. Pengamatan rerata intensitas gejala serangan penyakit bibit pada beberapa umur

Kelompok umur bibit	Indeks penyakit pinus	
	RPH Celaket (BKPH Pacet, KPH Psuruan)	RPH Pujon Selatan (BKPH Pujon, KPH Malang)
Umur 2 bulan	11,32	21,38
Umur 3 bulan	19,53	26,85
Umur 4 bulan	26,55	33,58
Umur 5 bulan	27,15	35,48
Umur 16 bulan	30,47	-

Pada indeks penyakit antara 25-50, persemaian tergolong terserang ringan sampai sedang dan bibit berumur 9 MSO atau sekitar 2 bulan dengan indeks penyakit tergolong rendah akan makin meningkat dan akan berada pada kategori yang sedang ketika berumur 5 bulan [2].

Seperti pada umumnya persemaian pinus, indeks penyakit akan terus bertambah dengan gejala serangan di tiap bedengan yang bervariasi, sehingga seringkali terbentuk seperti model “mosaic” di bedeng persemaian

(**Gambar 5**, kanan); bahkan di antara kelompok bibit yang bergejala sakit, akan dijumpai bibit-bibit yang terserang paling berat dan terancam mati (**Gambar 5**, kiri).



Gambar 5. Gejala serangan pada bibit *P. merkusii*; gejala serangan berat dan kematian bibit (kiri) serta “mosaic” gejala serangan pada bedeng persemaian pinus

Kejadian penyakit yang selalu menyertai produksi bibit di semua persemaian di Jawa Timur tidak lepas kaitannya dengan ketersediaan sumber propagul pathogen yang diproduksi oleh tegakan/pohon yang daun-daun baik tanaman muda maupun tanaman dewasa pada sebagian tajuknya bergejala hawar (**Gambar 6**). Daun jarum tanaman dewasa (**Gambar 6**, kiri) biasanya bergejala yang berawal dari bagian ujung; infeksi segera berkembang dan mengakibatkan kematian daun (**Gambar 6**, kanan) yang selanjutnya gugur sekaligus membawa konidiospora patogen. Sesuai prosedur kerja Perum perhutani yaitu menggunakan tanah “top soil” dari bawah tegakan *P. merkusii*, maka pemindahan propagul pathogen ke dalam pot berisi media tanam akan terjadi secara masif.



Gambar 6. Representasi gejala serangan hawar daun pada tanaman *P. merkusii* di lapang; ujung daun jarum terserang hawar (kiri) dan sebagian daun-daun di tajuk bawah tanaman muda bergejala hawar.

Bibit di lapangan relatif tidak bebas dari infeksi penyakit hawar daun; namun demikian pada pertanaman muda (Tabel 4) yang dianggap sehat selalu memiliki indeks penyakit antara 0-30 atau tergolong terserang dengan gejala serangan ringan. Kondisi ini terjadi di berbagai kawasan hutan di Jawa Timur dan di Jawa Barat [1].

Infeksi terjadi pada ujung daun yang berkembang menjalar hingga ke pangkal daun jarum. Selain infeksi melalui luka mekanik, seperti pada bekas gigitan serangga dan akibat gesekan tajuk, infeksi juga dapat terjadi pada stomata di bagian ujung daun [7]. Meskipun epidermis sel ujung tampak keras, namun ujung daun merupakan bagian daun yang paling sering menjadi pintu masuk awal infeksi patogen. Pada bibit, setelah memasuki stomata

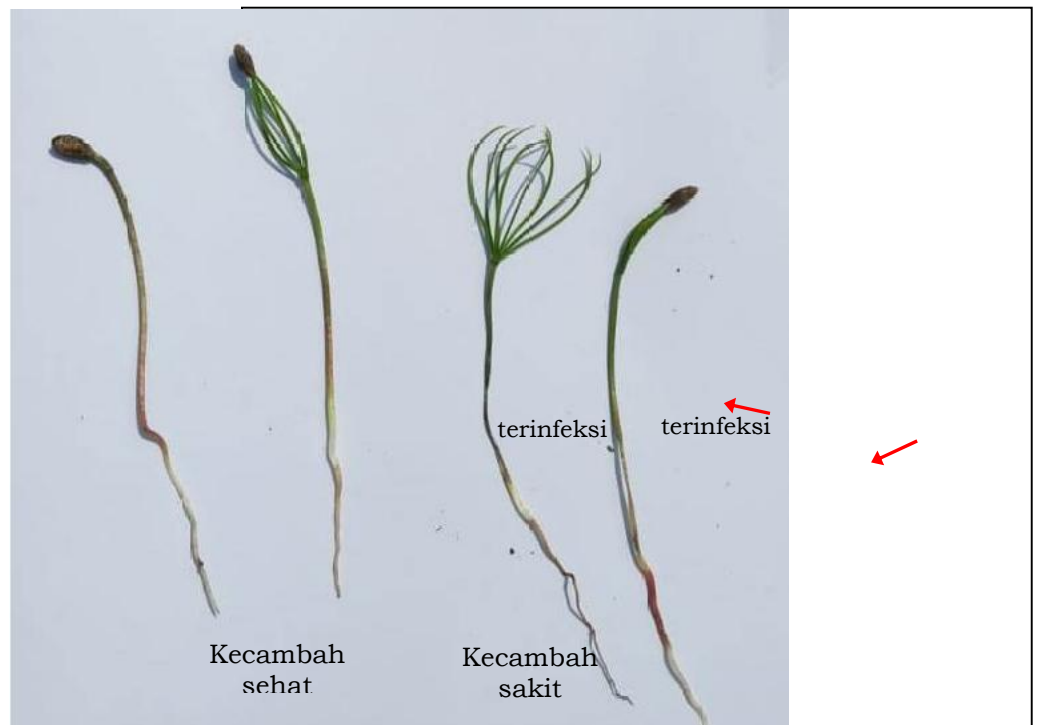
ujung daun, ujung kecambah hifa akan menerobos dinding sel berikutnya melalui mekanisme kerja enzim selulolitik dan pektinolitik yang dinamika aktivitasnya tergantung umur bibit dan jenis daun (kotiledon, daun tunggal, dan daun jarum). Infeksi mempercepat pengguguran daun. Hampir tiap pohon/tegakan terinfeksi sedikitnya 10-15 persen daun-nya. Khusus di Kemloko di lokasi pengamatan terdapat beberapa kelompok (populasi) pohon pinus umur sekitar 15-20 tahun yang daunnya menguning secara massif sehingga hampir 60 % tajuk yang bagian bawah mengalami menguning dan mati (**Gambar 7**)



Gambar 7. Tegakan pinus yang menunjuk gejala hawar secara massif

5.1.2 Gejala serangan damping off

Hasil pengamatan gejala *damping off* pada kecambah pinus umur 3 minggu setelah penaburan diperlihatkan pada **Gambar 8**. Pada kecambah yang sehat tampak batang kecambah mulus dan tampak segar dengan kotiledon dan bakal kotiledon yang tampak segar pula. Sebaliknya pada kecambah yang terinfeksi tampak layu. Bagian yang terinfeksi patogen tampak membusuk dan kisut; hal ini menyebabkan terhambatnya penyerapan air dan membuat bagian kecambah layu.



Gambar 8. Gejala *damping off* bibit pinus

5.2 Hasil Isolasi Patogen

5.2.1 Patogen hawar daun pinus

Isolasi patogen dari daun merupakan langkah awal pendeteksian suatu penyakit sebelum memasuki langkah *Postulat Koch*.

Isolasi patogen dari daun bergejala hawar dilakukan dengan mengambil potongan daun yang menunjukkan gejala dan memiliki bagian yang masih sehat hingga menjelang bagian yang bergejala infeksi.

Berdasarkan hasil isolasi dan pengamatan mikroskopis diketahui bahwa patogen penyebab penyakit adalah *Pestalotia theae* (**Gambar 9**). Konidiospora bersel 5 dengan 3 sel tengah berwarna coklat atau coklat kekuningan ("concolorous") dan 2 sel masing-masing di "ujung" dengan bentuk agak berbonggol dan "pangkalnya" disebut "pedisel" dengan bentuk agak meruncing-memanjang tidak berwarna atau hialin. Konidia berukuran panjang 22-32 μm dan lebar 5-8 μm . Konidiospora dilengkapi dengan struktur seperti sungut atau antenna yang berpangkal di sel terujung berjumlah 2-3 berukuran 25-40 μm . Patogen yang menyerang di Jawa Timur ini secara morfologis mirip dengan yang menyerang bibit dan pohon *P. merkusii* di berbagai tempat di Jawa barat yang kemudian dideterminasi berdasarkan [38] sebagai *Pestalotia theae* Sawada.



Gambar 9. Morfologi, koloni (pada PDA-c), dan miseium (pada tabung rekasi) patogen *P. theae* yang diisolasi dari daun bergejala hawar.

Dari pengamatan indeks penyakit, yang merupakan hasil perhitungan dari sejumlah bibit – yaitu 500 bibit dari tiap petak bibit-, ditemui bibit yang mati karena serangan hawar daun. Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi ekologis (ketinggian di atas 1000 m dpl, suhu 10-28 °C, dan RH kurang dari 80 %) yang dianggap aman terhadap potensi perusakan oleh hawar daun, ternyata banyak ditemui bibit mati. Sementara itu di bawah tegakan pinus umur 20 tahun di Celaket dan di berbagai hutan pinus lainnya dijumpai anakan yang tumbuh secara alami sudah terinfeksi hawar daun. Dari pengamatan dan pemeriksaan contoh daun yang bagian ujungnya menunjukkan gejala, ternyata positif terinfeksi pathogen hawar daun. Hal ini berarti bahwa *top soil* bawah tegakan pinus yang selalu digunakan sebagai media tanam bibit pinus kaya akan propagul pathogen (dalam bentuk spora).

Khusus di persemaian Celaket terdeteksi juga fungi dari jenis *Fusarium* dengan warna koloni keunguan. *F. oxysporum* telah menimbulkan penyakit damping off pada bibit pinus umur 1-8 minggu setelah perkecambahan [39]. Meskipun pada berbagai tanaman bersifat sebagai patogen, banyak diketahui strain-strain bersifat saprofitik dan bertahan lama dalam bentuk klamidospora [40, 41] dan bersifat nonpatogenik yang dapat menginduksi ketahanan tanaman dan atau menekan patogen [42, 43].

Pada lokasi persemaian (Celaket) tidak ditemukan adanya tumbuhan gulma seperti yang terjadi pada kasus di Pongpoklandak Ciajur-Jawa Barat pada ketinggian 250-300 m dpl di mana gulma di persemaian menunjukkan gejala hawar daun [3].

5.2.2 Patogen damping off

Berdasarkan hasil isolasi dari potongan batang kecambah pinus ditemukan patogen yang paling konsisten adalah *Fusarium oxysporum*, dan *Rhizoctonia* sp., dan *Fusarium* sp. dengan deskripsi seperti tertera pada **Tabel 5**.

Patogen ini juga diketahui menyerang berbagai anakan tanaman hortikultur seperti: kentang, tomat, dan sawi putih dengan gejala busuk dan layu pada tajuk.

Tabel 5. Deskripsi patogen *damping off* pada pinus

<i>Fusarium oxysporum</i>	<i>Rhizoctonia</i> sp.	<i>Fusarium</i> sp.
<ul style="list-style-type: none"> - Konidiofor bercabang panjang 70 μm - Makrokonidia berbentuk sabit, bersel 3-4, hialin - Konidia berukuran 25,5 x 4,25 μm. - Konidiofor bercabang panjang 70 μm - Klamidospora bersel satu, bulat, berukuran 9 x 7 μm, terbentuk di tengah hifa 	<ul style="list-style-type: none"> - Sklerotium berwarna coklat, coklat kehitaman, hingga hitam - Ukuran sklerotium bervariasi 0,5-5,0 mm - Bentuk sklerotium tidak beraturan - Hifa berdiameter 4-6 μm - Percabangan hifa membentuk sudut 45 derajat hingga siku-siku 	<ul style="list-style-type: none"> - Konidiofor tegak - Makrokonidia bersel 3-4, hialin - Konidia berukuran 35 x 5,25 μm. - Klamidospora hyaline, bersel tunggal, bulat, berukuran 9,7 x 8,1 μm, terbentuk di tengah hifa.

5.3 Profil Serangan Penyakit Pinus

Dengan mempertimbangkan: (i) Secara ekologis dari seluruh wilayah pertanaman *P. merkusii* terletak di kawasan pegunungan Welirang-Arjuna-Anjamoro, kawasan Bromo-Tengger-Semeru, kawasan Lawu dan sekitarnya, kawasan Iyang-Ijen, diperkirakan hampir 60 % berada di kawasan pegunungan Welirang-Arjuna-Anjamoro, kawasan Bromo-Tengger-Semeru, (ii) Secara administratif pengelolaan hutan tanaman pinus yang berada pada kedua kawasan tersebut sebagian terbesar

berada di bawah pengelolaan KPH Pasuruan dan KPH Malang, maka pengamatan dan pengambilan data relatif lebih banyak dilakukan pada persemaian dan tanaman muda berumur 1-2 tahun dan pada tegakan, yang diduga sebagai penyedia sumber inokulum, di wilayah kerja KPH Pasuruan dan KPH Malang.

Lokasi pengambilan sampel dan representasi cakupan wilayah secara ekologis dan secara administrasi pengelolaan hutan yang secara administratif pemerintahan terletak di Kabupaten Malang, Kabupaten Mojokerto, Kabupaten Pasuruan, Kabupaten Probolinggo,

Kawasan ekologi yang tercakup dalam penelitian ini adalah meliputi kawasan hutan tanaman yang mengikuti pola: (i) kawasan pegunungan Bromo-Tengger-Semeru namun di luar kawasan pengelolaan Balai Konservasi Sumberdaya Alam (BKSDA) Bromo Tengger Semeru, dan (ii) kawasan pegunungan yang meliputi gunung-gunung: Arjuno, Welirang, Anjasmoro, Kawi, dan Kelud. Kedua kawasan ini meliputi kawasan di mana bersumbernya aliran air anak-anak sungai Sungai Brantas dan kawasan di mana mengalirnya Sungai Brantas yang merupakan cakupan daerah aliran sungai (DAS) Brantas. DAS Brantas mencakup dan/atau menanggung-jawabi suplai air irigasi dan berbagai keperluan air di 16 kabupaten/kota meliputi: Kab. Malang, Kota Batu, Kota Malang, Kab. Pasuruan, Kota Pasuruan, Kab. Blitar, Kota Blitar, Kab. Kediri, Kota Kediri, Kab. Tulungagung, Kab. Nganjuk, Kab. Jombang, Kab. Mojokerto, Kota Mojokerto,

Kab. Sidoarjo, dan Kota Surabaya. Secara keseluruhan, cakupan pengaruh ekologis kawasan antara Arjuno-Welirang-Anjasmoro dan Bromo-Tengger-Semeru selain 16 kabupaten/kota yang dilalui aliran DAS/keompok Sungai Berantas juga termasuk Kab. Probolinggo dan Kab. Lumajang. Selanjutnya area yang akan dikunjungi untuk dilakukan pengambilan sampel daun bibit *P. merkusii* dan/atau daun pohon tegakan *P. merkusii*.

5.3.1 Status serangan hawar daun

Status penyakit pada suatu kawasan akan menunjukkan penyebaran penyakit dan tingkat virulensinya pada kawasan tersebut. Pada satu kawasan bisa saja terdapat mosaik intensitas serangan yang ditunjukkan oleh indeks penyakit yang berbeda dari suatu kelompok tanaman ke kelompok tanaman lainnya. Indeks penyakit pada suatu kelompok tanaman juga dapat menunjukkan kelimpahan propagul infeksius suatu patogen. Fakta di lapangan menunjukkan bahwa pada suatu petak hutan dengan luasan 10 hektar misalnya akan dijumpai mosaik gejala serangan yang menunjukkan variasi gejala serangan. Perbedaan tersebut bukanlah menunjukkan perbedaan virulensi patogen di antara kelompok pertanaman.

Status penyakit pada tegakan dinyatakan terinfeksi, sedangkan pada pesemaian dan tanaman dinyatakan dalam indeks penyakit. Adapun status verifikasi adalah positif/negatif terserang (terinfeksi *P. theae*) melalui pemeriksaan laboratorium.

Hasil pengamatan di lapang di wilayah operasional pengelolaan KPH Malang dan KPH Pasuruan terhadap status serangan penyakit hawar daun diperlihatkan pada **Tabel 6.**

Tabel 6. Status penyakit hawar daun pinus di wilayah pengelolaan hutan KPH Pasuruan dan KPH Malang (kawasan utama hutan pinus) Perum Perhutani Unit Jawa Timur

No.	Cakupan Wilayah Pengelolaan Hutan			Bentuk Perta- naman	Status serangan Dan Indeks Penyakit (Bibit)	Status 2016- 2017
	Bagian Pemang- kuan Hutan (BKPH)	Resort Pemang- kuan Hutan (RPH)	Petak			
1	Jatirejo	Manting	15	Tega- kan	Terin- feksi	Ter- serang
2	Pacet	Celaket	20E	Pembi- bitan	26,39- 27,61	Ter- serang
3	Pacet	Celaket	44M	Tega- kan	Teri- nfeksi	Ter- serang
4	Pacet	Kemiri	28A	Umur 1 tahun	Teri- nfeksi	Ter- serang
5	Tosari	Puspo	42A	Tega- kan	Teri- nfeksi	Ter- serang
6	Lawang Barat	Prigen		Tega- kan	Teri- nfeksi	Ter- serang
7	Lawang Timur	Gerbo	7G	Tega- kan	Teri- nfeksi	Ter- serang
8	Pacet	Kemloko	45	Tega- kan	Teri- nfeksi	Ter- serang
9	Dampit	Bambang Utara	71	Pembi- bitan	23,67- 33,83	Ter- serang
10	Tumpang	Ponco- kusumo		Pembi- bitan	29,28- 47,24	Ter- serang
11	Kepanjen	Wagir	180A	Pembi- bitan	55,73- 82,13	Ter- serang
12	Singosari	Sumber- awan	132	Pembi- bitan	15,84- 60,15	Ter- serang
13	Pujon	Pujon Selatan	83	Pembi- bitan	24,73- 70,16	Ter- serang
14	Ngantang	Ngantang	26E	Pembi- bitan	28,33- 60,83	Ter- serang

5.3.2 Status serangan berdasarkan ketinggian tempat

Hampir seluruh pertanaman pinus di Jawa Timur berada pada ketinggian sekitar 300 m dpl hingga 1.200 m dpl yang berada di luar kawasan konservasi yang merupakan area kerja pengelolaan oleh Balai Konservasi Sumberdaya Alam Kementerian Kehutanan. Perbedaan ketinggian akan mempengaruhi indeks penyakit hawar daun [3]. Selain di persemaian sejauh ini belum ada informasi status dan indeks penyakit pada tanaman muda dan tegakan pinus. Untuk itu pada penelitian ini diamati bagaimana status/eksistensi hawar daun tanaman pinus pada berbagai ketinggian tempat yang dikelompokkan sebagai: rendah (300-400 m dpl), sedang (500-800 m dpl.) dan tinggi (di atas 800 m dpl). Hasil pengamatan dapat dilihat pada **Tabel 7**.

Dari **Tabel 7** diketahui bahwa hampir semua pohon pinus di wilayah KPH Malang berpotensi sebagai sumber inokulum bagi penyebaran penyakit hawar daun pinus di samping bagi daun-daun sehat di sekitarnya baik dalam satu pohon maupun pohon lainnya di semua ketinggian. Sementara itu di wilayah di luar kawasan utama lainnya yaitu KPH Pasuruan menunjukkan status serangan penyakit yang relatif sama dengan KPH Pasuruan dan KPH Malang (**Tabel 8**)

Tabel 7. Hasil pengamatan status serangan penyakit bergejala hawar daun pada tanaman/tegakan *P. merkusii* pada representasi berbagai ketinggian tempat di KPH Pasuruan

Kelompok ketinggian tempat	Lokasi	Rerata Ketinggian tempat (m dpl.)	Status Serangan
Rendah 300-600 m dpl.	Jatijejer 1	305	Sangat ringan
	Jatijejer 2	325	Sangat ringan
	Jatijejer 3	410	Sangat ringan
Sedang 600-800 m dpl	Kemloko	700	Sedang
	Puspo-Tosari	710	Sangat ringan
Agak Tinggi 800-1000 m dpl	Puspo-Pesemaian	840	Sangat ringan
	Prigen	900	Sangat ringan
Tinggi >1000 m dpl	Celaket 1	1.040	Sangat ringan
	Celaket 2	950	Sangat ringan
	Nongkojejer	920	Sangat ringan
	Pujon 1	1.250	Sangat ringan
	Pujon 2	1.100	Sangat ringan

*) Tegakan pinus yang diamati minimal berumur 5 tahun namun tidak dikelompokkan baik berdasarkan umur maupun lokasi area pengelolaan

Tabel 8. Hasil pengamatan status serangan penyakit bergejala hawar daun pada tanaman/tegakan *P. merkusii* pada representasi berbagai ketinggian tempat di KPH Malang

Kelompok ketinggian tempat	Lokasi	Rerata Ketinggian tempat (m dpl.)	Status Serangan
Amat Rendah 300-400 m dpl.	Jatijejer 1	305	Sangat ringan
	Jatijejer 2	325	Sangat ringan
	Candipuro	380	Sangat ringan
	Jelbuk	310	Sangat ringan
	Wringin Tapung	340	Sangat ringan
Rendah 400-600 m dpl	Jatijejer 3	410	Sangat ringan
	Ngembat-Jatirejo 1	430	Sangat ringan
	Jatirejo 2	440	Sangat ringan
	Tumpang	520	Sangat ringan
	Ngantang	500	Sangat ringan
	Garahan	540	Sangat ringan
Sedang 600-800 m dpl	Kemloko	700	Sangat ringan
	Puspo-Tosari	710	Sangat ringan
	Bambang Utara	680	Sangat ringan
	Pronojiwo	780	Sangat ringan
Agak Tinggi 800-1000 m dpl	Puspo-Pesemaian	840	Sangat ringan
	Prigen	900	Sangat ringan
	Wagir	985	Sangat ringan
	Kemiri	975	Sangat ringan
Tinggi >1000 m dpl	Celaket 1	1.040	Sangat ringan
	Celaket 2	950	Sangat ringan
	Nongkojejer	920	Sangat ringan
	Pujon 1	1.250	Sangat ringan
	Pujon 2	1.100	Sangat ringan
	Sumberawan	1.040	Sangat ringan

*) Tegakan pinus yang diamati minimal berumur 5 tahun namun tidak dikelompokkan baik berdasarkan umur maupun lokasi area pengelolaan

Dari hasil pengamatan di persemaian menunjukkan bahwa telah terjadi peningkatan indeks penyakit hawar daun 3,28 (skala 10-100) selama 1 bulan. Hal ini menunjukkan bahwa ada kecenderungan peningkatan terus-menerus indeks penyakit hingga bibit siap ditanam pada sekitar bulan Nopember-Desember 2014. Namun demikian pada pengamatan ke-3 terjadi lonjakan indeks penyakit hingga mencapai rata-rata 20,42. Hal yang sama juga diperoleh pada penelitian di daerah Cijambu (Sumedang) pada ketinggian 1.150 m dpl ada kenaikan indeks penyakit bibit *P. merkusii* yang sengaja diinokulasi patogen *P. theae* sebesar 4,49 (dari 4,92 menjadi 9,31) [3]. Peningkatan indeks penyakit yang relative tinggi pada umur bibit 5-6 bulan disebabkan adanya penurunan aktivitas peroksidase dan poligalaturonase/pektinase pada saat umur tersebut [7]. Pada persemaian di Celaket ini, penularan terjadi secara tidak sengaja atau terjadi secara alami melalui mekanisme percikan atau kontaminasi dengan tanah media tanam yang sudah mengandung propagul patogen.

Indeks penyakit pada pertanaman muda pinus rata-rata sebesar 29,40; hal ini berarti sesuai kriteria penentuan indeks penyakit [36] hampir seluruhnya tanaman berstatus mendapat serangan ringan sampai sedang (**Tabel 3**). Tidak terdapatnya kenaikan relative indeks penyakit pada tanaman muda disebabkan adanya

kemampuan tanaman untuk meningkatkan ketahanan totalnya terhadap aktivitas patogen.

Dengan status serangan masuk dala kategori ringan sampai sedang, maka tiap persemaian, petak, dan resort area hutan memiliki sumber penularan penyakit. Kondisi ini berpeluang untuk terjadi kerusakan pembibitan dan pertanaman pinus di masa mendatang.

Ketersediaan propagul patogen dalam bentuk konidiospora bersel lima di tiap pertanaman pinus, di semua level ketinggian tempat, telah menyebabkan persemaian pinus selalu terancam serangan hawar daun (**Tabel 9**).

Berdasarkan **Tabel 9** dapat dinyatakan bahwa di hampir semua persemaian, bibit terserang penyakit dengan kelompok-kelompok bibit berkategori serangan sedang hingga berat karena memiliki indeks di atas 25 hingga mencapai kematian. Pada persemaian di Celaket, indeks penyakit pada sampai umur tertua 6-7 bulan mencapai 27,06. Dengan demikian maka kelompok bibit di persemaian Celaket tergolong terserang hawar dengan kategori ringan dan relative aman hingga berumur 10-12 bulan atau saat siap tanam.

Tabel 9. Hasil pengamatan status serangan penyakit bergejala hawar daun pada tanaman/tegakan *P. merkusii* pada representasi berbagai ketinggian tempat

Kelompok ketinggian tempat	Lokasi	Ketinggian tempat (m dpl.)	Indeks Penyakit
Amat rendah (300-400 m dpl.)	Wringin Tapung	340	42,25
Rendah (400-600 m dpl.)	Tumpang	520	36,24
	Ngantang	500	52,88
	Garahan	540	27,36
Sedang (600-800 m dpl.)	Bambang Utara	680	26,59
Agak Tinggi (800-1.000 m dpl.)	Puspo-Tosari	840	5,43
	Wagir	985	61,59
Tinggi (>1.000 m dpl.)	Celaket	1.040	27,06
	Sumberawan	1.040	30,05
	Pujon	1.200	33,58

*) Kecuali Puspo-Tosari, semua persemaian bersifat tetap dan menjadi andalan bagi sumber bibit pinus bagi kawasan hutan pinus di sekitarnya.

Dengan asumsi bahwa klon pinus yang menjadi sumber benih berperilaku tetap dalam merespons kondisi lingkungan, mengingat sumbernya relative seragam, maka diduga pathogen hawar daun yang menyerang persemaian di Celaket memiliki virulensi yang relative lebih rendah dibandingkan di berbagai lokasi lainnya. Sementara itu di Pujon, meskipun indeks penyakit 33,58, namun kondisi bibit relative sudah terseleksi sempurna, sehingga dapat

dikatakan pada saat pengamatan persemaian relative bebas dari bibit berkategori berat atau mengalami kematian. Berdasarkan gejala serangan dan informasi yang diperoleh di lapang dapat dinyatakan bahwa *P. theae* isolate Wagir, Ngantang, dan Pujon tergolong lebih virulen dibandingkan isolat-isolat lainnya.

5.3.3 Peta serangan hawar daun

Berdasarkan hasil observasi serangan dan inventarisasi isolat dari semua lokasi representasi area hutan *P. merkusii* di Jawa Timur dapat dinyatakan peta serangannya seperti ditunjukkan pada **Tabel 10**.

Tabel 10. Peta serangan hawar daun pinus pada wilayah representasi kawasan hutan pinus di Jawa Timur

No.	Lokasi Pengamatan	Wilayah Representasi		Status serangan
		Geografis-ekologis	Adminis-tratif (Kabupaten)	
1	Jatijejer 1	G. Anjasmoro, G. Watujuadah	Jombang, Mojokerto	Terserang ringan
2	Jatijejer 2	G. Anjasmoro	Mojokerto	Terserang ringan
3	Celaket 1	G. Welirang	Mojokerto	Terserang ringan
4	Celaket 2	G. Welirang	Mojokerto	Terserang ringan
5	Kemiri	G. Anjasmoro, G. Welirang	Mojokerto	Terserang ringan
6	Jatirejo	G. Argowayang, G. Anjasmoro	Mojokerto, Jombang	Terserang ringan
7	Prigen	G. Arjuno, G. Welirang	Pasuruan, Mojokerto	Terserang ringan

Tabel 10. Peta serangan hawar daun pinus pada wilayah representasi kawasan hutan pinus di Jawa Timur (lanjutan)

No.	Lokasi Pengamatan	Wilayah Representasi		Status serangan
		Geografis-ekologis	Adminis-tratif (Kabupaten)	
8	Nongkojajar	Pegunungan Tengger (bagian Barat)	Pasuruan, Malang	Terserang ringan
9	Kemloko	G. Anjasmoro, G. Welirang	Mojokerto	Terserang ringan sampai sedang
10	Tosari-Puspo	Pengunungan Tengger (Utara)	Probolinggo	Terserang ringan
11	Puspo	Pengunungan Tengger (Barat)	Pasuruan	Terserang ringan
12	Tumpang	Peg. BTSemeru (bagian Barat)	Malang	Terserang ringan
13	B. Utara	Peg. BTSemeru (bagian Selatan)	Malang	Terserang ringan
14	Wagir	G. Kawi (Selatan)	Blitar, Malang	Terserang ringan
15	Pujon	G. Argowayang, G. Kojor, G. Kawi (bagian Utara)	Malang	Terserang ringan
16	Ngantang	G. Kelud (bagian Utara)	Blitar, Kediri	Terserang ringan
17	Sumberawan	G. Arjuno, G. Welirang (Barat)	Malang	Terserang ringan
18	Jelbuk	Peg. Iyang dan Peg. Ijen	Jember	Terserang ringan
19	Garahan	Peg. Iyang (Selatan)	Jember	Terserang ringan
20	Wringin Tapung	Peg. Iyang , Peg. Ijen (Barat)	Bondowoso,	Terserang ringan

Tabel 10. Peta serangan hawar daun pinus pada wilayah representasi kawasan hutan pinus di Jawa Timur (lanjutan)

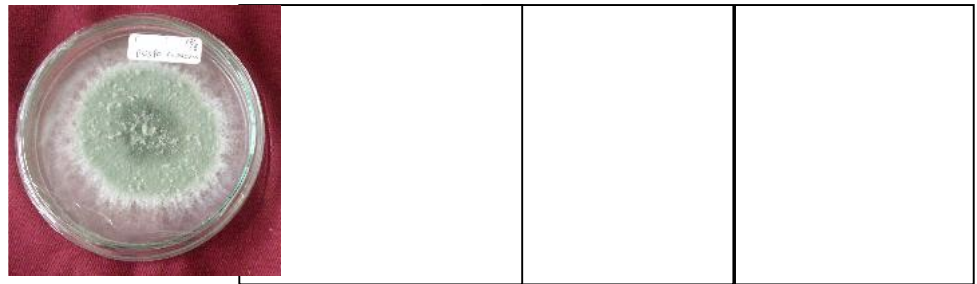
No.	Lokasi Pengamatan	Wilayah Representasi		Status serangan
		Geografis-ekologis	Adminis-tratif (Kabupaten)	
21	Candipuro	Peg. BTSemeru (bagian Timur)	Lumajang	Terserang ringan
22	Pronojiwo	Peg. BTSemeru (bagian Selatan)	Lumajang, Malang	Terserang ringan
23	Tawangmangu	G. Lawu	Magetan	Terserang ringan
24	Sarangan	G. Lawu	, Ngawi	Terserang ringan
25	Ngebel	G. Liman, G. Dorowati, G. Wilis	Ponorogo,	Terserang ringan
26	Sawahan	G. Liman, G. Dorowati, G. Wilis	Nganjuk	Terserang ringan
27	Kalibaru	Peg. Ijen (barat)	Banyuwangi	Terserang ringan
28	Glenmore	Peg. Ijen (Selatan)	Banyuwangi	Terserang ringan
29	Wringin	Peg. Iyang , Peg. Ijen (Utara)	Bondowoso,	Terserang ringan

Dari **Tabel 10** tampak bahwa relative seluruh kawasan hutan pinus di Jawa Timur, yang merupakan daerah kerja Perum Perhutani Divisi Regional II, sudah terinfestasi pathogen hawar daun bibit pinus yang pada tingkat tanaman dewasa hingga tanaman muda di lapang terdapat bagian tajuk yang daunnya terinfeksi *P. theae*. Oleh karenanya di manapun didirikan persemaian pinus dalam rangka pemenuhan kebutuhan penanaman baik untuk

mengganti tegakan yang tebang/dipanen maupun pengembangan area penanaman, ancaman serangan hawar daun bibit pinus akan selalu ada.

5.4 *Trichoderma* Agensia Hayati Potensial

Hasil pengamatan terhadap isolat *Trichoderma* yang diperoleh dari lahan hutan terutama di sekitar persemaian kawasan utama pemangkuan hutan yaitu di Claket mewakili KPH Pasuruan dan di Pujon Selatan mewakili KPH Malang diperlihatkan pada **Gambar 10**.



Gambar 10. Koloni dalam cawan petri (kiri) dan tabung reaksi (kanan), serta konidiospora (tengah), *Trichoderma* sp. yang diambil dari Claket, KPH Pasuruan

Trichoderma yang merupakan jamur imperfekti (tak sempurna), yang berhasil diisolasi berkoloni relatif cepat tumbuh dan berwarna hijau dengan penampilan seperti tertera pada **Gambar 10** dengan ukuran spora berkisar antara 2,4-3,2 x 2,2-4,5 μm . Awal tumbuhnya koloni berwarna putih, namun segera diikuti oleh

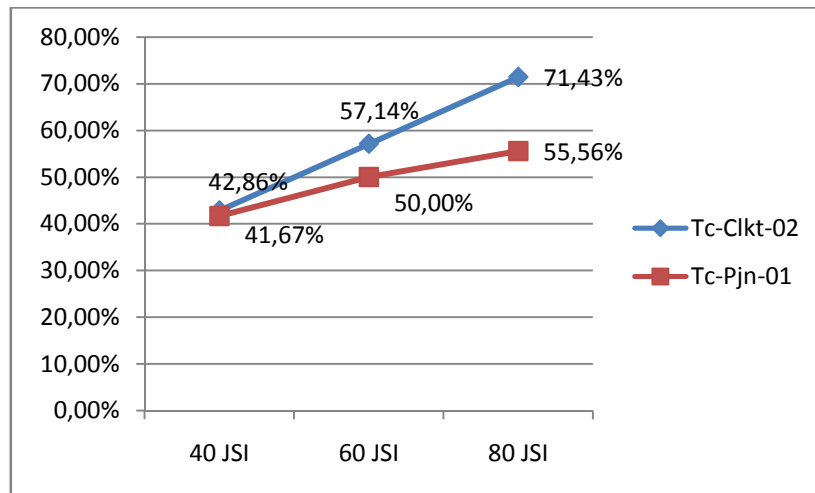
Koloni *Trichoderma* sp. yang ditumbuhkan pada media PDA dapat dideskripsikan sebagai berikut:

- (i) Pada awal pertumbuhan koloni berwarna putih selanjutnya akan tampak perubahan warna koloni menjadi hijau pada beberapa jam atau satu hari berikutnya. Ketika koloni sudah tumbuh memenuhi cawan petri, maka hampir seluruh koloni tampak berwarna hijau;
- (ii) Anyaman hifa mulai terlihat putih pada rata-rata hari ke-3 setelah penempatan inokulum (inokulasi), perubahan menjadi warna hijau terjadi ketika koloni berumur sekitar 7-10 hari setelah inokulasi; selanjutnya warna hijau mendominasi koloni. Hal ini menandakan pembentukan spora pada ujung-ujung hifa sudah masif.

5.5 Uji Daya Antagonistik Trichoderma

5.5.1 Uji in vitro

Hasil pengujian in vitro menunjukkan daya hambat Trichoderma isolat Tc-Pjn-01 dan isolat Tc-Cklt-02 terhadap patogen *P. theae* yang berbeda di akhir pengamatan (80 JSI) seperti ditunjukkan pada **Gambar 11**.



Gambar 11. Pertumbuhan daya hambat dua isolat *Trichoderma* sp. terhadap *P. theae* patogen hawar daun pinus

Pada awal pengamatan (40 JSI) tampak bahwa daya penghambatan kedua isolat sama yaitu 41,67 (Tc-Pjn-02) dan 42,86% (Tc-Clkt-02), tapi mulai 60 JSI hingga 80 JSI penghambatan oleh keduanya berbeda. *Trichoderma* isolat Tc-Pjn-01 kurang kuat daya hambatnya dibandingkan dengan islat Tc-Clkt-01.

5.5.2 Uji in vivo

Hasil pengujian kemampuan kedua macam isolat baik sebagai agensia biokontrol (biopestisida) maupun sebagai bioferilizer (pupuk hayati) terhadap penyakit hawar daun bibit menunjukkan adanya perbedaan yang nyata antarperlakuan ($p < 0,05$) seperti ditunjukkan pada **Tabel 11**.

Tabel 11. Rerata persentase kejadian penyakit hawar daun bibit *P. merkusii* sebagai respons aplikasi dua isolat *Trichoderma* sebagai biopestisida dan biofertilizer pada satu bulan setelah inokulasi

Perlakuan	% Serangan
Biopestisida 1 (<i>Trichoderma</i> sp.Tc-Clkt-02)	39,9% c
Biopestisida 2 (<i>Trichoderma</i> sp. Tc-Pjn-01)	48,3% c
Kontrol (Tanpa <i>Trichoderma</i>)	78,0% a
Biofertilizer 1 (<i>Trichoderma</i> sp.Tc-Clkt-02)	14,6% b
Biofertilizer 2 (<i>Trichoderma</i> sp. Tc-Pjn-01)	14,6% b

Rerata persentase rangan yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan pengaruh aplikasi perlakuan yang sama ($p < 0,05$)

Tabel 11 menunjukkan bahwa aplikasi *Trichoderma* sebagai biopestisida mampu menekan serangan hingga menjadi 39,9% dan 48,3%. Namun demikian rerata kejadian penyakit yang pada perlakuan biofertilizer menunjukkan jauh lebih rendah yaitu 14,6%. Hal ini berarti kedua isolat tersebut lebih berperan sebagai penginduksi ketahanan tanaman terhadap serangan patogen yang pengaplikasiannya sebagai biofertilizer. Dalam hal ini peran *Trichoderma* yang lebih menonjol adalah kemampuannya menghasilkan metabolit yang berperan sebagai hormon pertumbuhan [29, 33]. Pada tanaman muda seperti bibit pinus ini diduga bahwa ada dukungan *Trichoderma* dalam menginduksi enzim-enzim tanaman yang bertanggung-jawab terhadap pemacuan pertumbuhan [34].

Hasil pengujian secara *in vivo* kemampuan kedua macam isolat (Tc-Clkt-02 dan Tc-Pjn-01) sebagai agensia biokontrol terhadap penyakit *damping off* menunjukkan

adanya pengaruh perbedaan antarperlakuan ($p < 0,05$). Rerata persentase kemunculan *damping off* pada kecambah pinus dapat dilihat pada **Tabel 12**.

Tabel 12. Rerata persentase kejadian penyakit *damping off* kecambah *P. merkusii* sebagai respons aplikasi dua isolat *Trichoderma* di baki perkecambahan pada tiga minggu setelah inokulasi

Perlakuan	% Serangan
Kontrol (Tanpa <i>Trichoderma</i>)	2,1% b
<i>Trichoderma</i> sp. Tc-Jjr-02 – media standard	0,0% c
<i>Trichoderma</i> sp. Tc-Pjn-01 – media standard	0,0% c
<i>Trichoderma</i> sp. Tc-Jjr-02 – media pasir	2,2% b
<i>Trichoderma</i> sp. Tc-Pjn-01 – media pasir	10,5% a

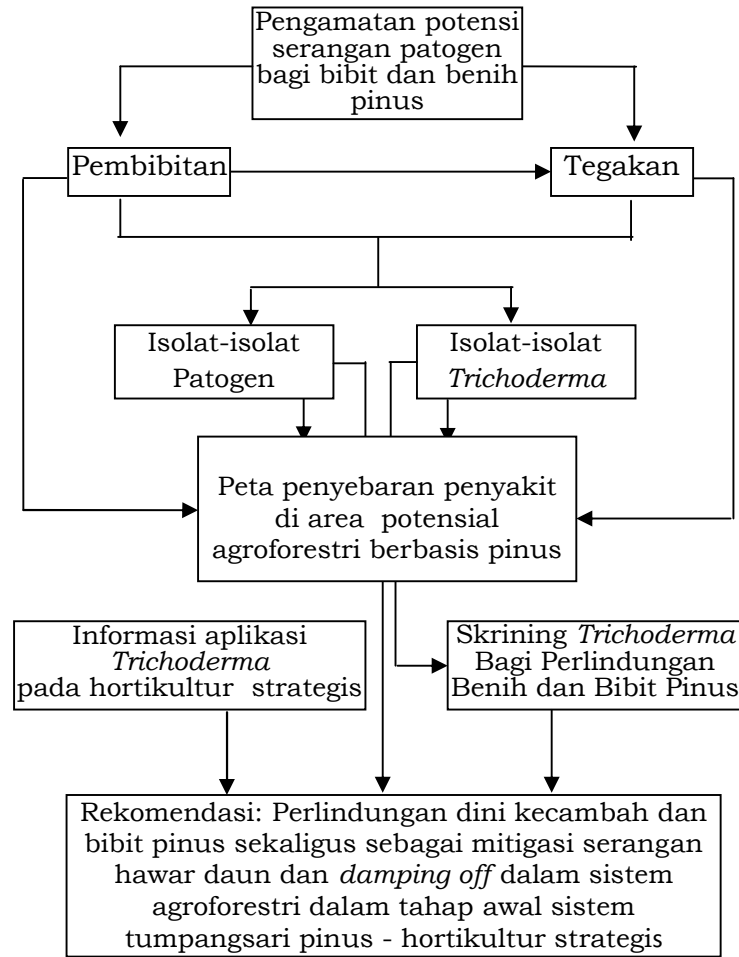
Rerata persentase serangan yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan pengaruh aplikasi perlakuan yang sama ($p < 0,05$)

Seperti terlihat pada **Tabel 12** bahwa telah terjadi kontradiksi aplikasi *Trichoderma* pada media berpasir yang persentase serangannya (2,2% dan 10,5%) melampaui kontrol (0%). Pada media pasir steril atau tanpa top soil tersedia propagul ektomikoriza yang merupakan kumpulan miselium masif. Hifa ektomikoriza secara aktif menginfeksi akar kecambah yang dapat meningkatkan ketahanan tanaman terhadap serangan patogen *damping off* [15]. Jika pada perlakuan kontrol dibandingkan dengan kedua perlakuan *Trichoderma* yang medianya berpasir (tanpa top soil), maka dapat dinyatakan bahwa peran ektomikoriza tampaknya lebih kuat dibandingkan peran *Trichoderma* dalam membantu melindungi kecambah pinus. Sementara itu pada kontrol dibandingkan dengan

perlakuan *Trichoderma* yang juga menggunakan top soil, maka akan tampak adanya peran *Trichoderma* yang signifikan membantu melindungi kecambah. Top soil yang kaya bahan organik sesungguhnya merupakan sumber karbon bagi *Trichoderma* [44] sehingga menjamin berlangsungnya aktivitas fungi ini dalam menghasilkan senyawa ekstraselular berupa metabolit dan enzim-enzim yang dapat menghambat patogen dan melindungi tanaman [45, 46, 47].

5.6 Mitigasi Serangan Penyakit

Sebagai penyakit yang belum banyak dikenal oleh masyarakat umum, termasuk oleh pengelola hutan tanaman di Jawa, potensi ancaman hawar daun pinus belum disadari baik oleh para pemangku kepentingan dan peneliti. Penelitian ini sesungguhnya untuk memvalidasi adanya potensi kerusakan tanaman dan sistem agroforestri pinus sekaligus menentukan fungi efektif *Trichoderma* yang dapat digunakan sebagai agen pengendali hayati dengan tahapan seperti ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Bagan alir tahap kegiatan penelitian yang bertujuan merancang strategi mitigasi dan pengendalian hayati dalam agroforestri berbasis pinus

Berdasarkan hasil observasi diketahui bahwa di dua kawasan utama kawasan pinus, serangan patogen hawar daun merata, meskipun dengan indeks yang berbeda (Tabel 4). Hal yang sama juga terjadi pada sebagian besar persemaian di Jawa Timur yang berkisar antara 25-60

(Tabel 6 dan 9). Di lain pihak di tingkat tegakan sebagian besar tegakan sudah menunjukkan gejala serangan baik pada semua ketinggian (Tabel 7 dan 8) maupun berdasarkan wilayah geografis-ekologis (Tabel 10). Fakta ini bertentangan dengan hasil penelitian terdahulu [2] yang menunjukkan bahwa ketinggian tempat berpengaruh terhadap intensitas serangan hawar daun. Kondisi ini merupakan wujud koeksistensi antarspesies dalam bentuk koevolusi antar patogen dan tanaman sebagai strategi adaptasi terhadap perubahan iklim dan kondisi edafis [48] di mana patogen penyebab penyakit hawar daun pinus menjadi lebih virulen.

Dengan melihat pola pertumbuhan intensitas serangan hawar daun bibit pinus yang dicirikan oleh penyebaran spasial bibit yang terinfeksi dan bibit sudah mulai terserang sebelum pasca *damping off* berakhir [7], maka tindakan seleksi secara dini dan memisahkan tanaman sakit menjadi prioritas pertama ketika kegiatan persemaian dimulai.

Pemanfaatan *Trichoderma* sebagai agen biokontrol yang diaplikasikan sebagai biopestisida untuk menekan patogen *damping off* merupakan tindakan penting untuk mencegah kegagalan dalam produksi bibit pada awal kegiatan persemaian. *Trichoderma* menghasilkan berbagai enzim hidrolitik dan antibiotik [30, 31, 47] yang dapat menekan dan memparasitasi patogen. Efektivitas daya tekan *Trichoderma* terhadap *Fusarium*, yang percobaan ini sebagai patogen *damping off* berbahaya, telah terbukti

pada tanaman palawija dan hortikultur [49, 50, 51]. Aplikasi mikroba agen biokontrol selain dapat meningkatkan resistensi tanaman terhadap serangan patogen tapi juga membantu meningkatkan tanaman [52]. *T. harzianum* dapat meningkatkan daya kecambah tomat [34] seperti sudah ditunjukkan pada percobaan ini melindungi bibit pinus dari serang patogen *damping off* (Tabel 13). Aplikasi *Trichoderma* isolat Tc-Pjn-01 dan Tc-Clkt-02 ternyata memperlihatkan perannya sebagai biofertilizer yang menginduksi ketahanan bibit pinus terhadap serang patogen hawar daun *P. theae* (Tabel 12). Peningkatan ketahanan tanaman yang diinduksi oleh *Trichoderma* juga ditunjukkan pada beberapa tanaman hortikultur [53, 54, 55].

Fungi penting lain yang terlibat dalam sistem persemaian dan rhisofer lahan hutan pinus adalah fungi ektomikoriza. Pinus adalah spesies yang sangat bergantung pada fungi ektomikoriza pasangan simbiotiknya. Fungi mikoriza simbiotik di akar pinus ini memiliki efek positif bagi kehidupan organisme di rizosfer sebagai mana yang diberikan fungi endomikoriza pada tanaman pangan. Aktivitas fungi mikoriza mempengaruhi aktivitas biologi tanah [56] dan produktivitas ekosistem perakaran [57]. *Scleroderma clunare* dan *Pisolithus arrhizus* merupakan fungi ektomikoriza yang kelimpahannya di rhzosfer dan perakaran pinus [58, 59] berkontribusi besar dalam siklus karbon hutan [60, 61]. Dengan demikian pemanfaatan

fungi ektomikriza dalam proses awal pembuatan bibit mutlak diperlukan.

Dalam sistem agrogorestri digunakan tumpang sari antara tanaman pinus muda (usia 1-5 tahun) dan beberapa tanaman hortikultur strategis, maka penggunaan pupuk organik sangat penting. Bahan organik merupakan sumber karbon dan nutrisi bagi mikroba saprofitik tanah. *Trichoderma* dapat hidup dengan baik sebagai dekomposer di berbagai bentuk bahan organik [28, 54]. Oleh karenanya memperkaya bahan organik tanah pada lahan agroforestri bukan saja meningkatkan kepadatan populasi *Trichoderma* tetapi juga menyediakan nutrisi dan senyawa ekstraselular yang berperan sebagai fitohormon [29, 33] yang dapat mengoptimalkan pertumbuhan pinus dan tanaman hortikultur sebagai pasangan dalam tumpangsari.

Secara keseluruhan beberapa tahapan yang dapat diimplementasikan dalam memitigasi serangan patogen pada persemaian dan tanaman pinus dalam sistem agroforestri adalah sebagai berikut:

- (i) Aplikasi *Trichoderma* dalam perlakuan benih hingga pengecambahan pinus dengan target untuk meeliminasi gangguan patogen damping off. Tahap ini juga dapat diterapkan pada benih tanaman hortikultur;
- (ii) Penggunaan fungi ektomikoriza sebagai bagian komponen media perkecambahan dan media tumbuh bibit pinus;

- (iii) Aplikasi *Trichoderma* sebagai *biofungisida* untuk perlindungan bibit tanaman baik pinus maupun tanaman pasangan tumpangsarinya yang diaplikasikan melalui penyemprotan;
- (iv) Aplikasi *Trichoderma* sebagai bioferilizer yang diformulasi dalam bahan organik untuk diaplikasikan sebagai pemupukan yang bertujuan menginduksi ketahanan tanaman terhadap serangan patogen sekaligus menyumbangkan zat pengatur tumbuh bagi tanaman dan nutrisi bagi pertumbuhan tanaman;
- (v) Seleksi dini bibit tanaman dengan cara memisahkan dan memusnahkan tanaman sakit, sehingga penularan dapat dicegah.

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Atas semua yang sudah dilakukan dalam penelitian ini, dapat disimpulkan (sementara) sebagai berikut:

- (i) Penyakit hawar daun pinus menunjukkan gejala daun kering yang dimulai dari jung hingga ke pangkal dan titik tumbuh baik pada bibit maupun pohon. Penyakit yang menyerang bibit mulai umur 1 bulan hingga siap tanam dan dapat menimbulkan kematian dengan cepat.
- (ii) Damping off menyerang kecambah pinus mulai 2-3 minggu setelah penaburan hingga menimbulkan rebah dan mati;
- (iii) Patogen penyebab hawar daun adalah *Pestalotia theae*, sedangkan yang menyebabkan damping off adalah *Fusarium oxysporum*, *Fusarium* sp., dan *Rhizoctonia solani*;
- (iv) Bahwa di semua persemaian dan kawasan hutan pinus di Jawa Timur baik bibit, tanaman muda, dan pohon *P. merkusii* menunjukkan gejala serangan hawar daun.
- (v) *Trichoderma* hasil isolasi dari Pujon (Tc-Pjn-02) dan dari Celaket (Tc-Clkt-01) masing-masing berpotensi untuk digunakan sebagai biofertilizer dan biopestisida dalam upaya pencegahan serangan penyakit hawar daun bibit pinus dan

damping off ditemui di semua lokasi pertanaman *P. merkusii*

- (vi) Mitigasi serangan penyakit dalam rangka pengendalian penyakit dalam sistem agroforestri berbasis pinus adalah melaksanakan beberapa tahapan strategis berupa: aplikasi *Trichoderma* dalam perlakuan benih dan pengecambahan, aplikasi biofertilizer ektomikoriza dalam media tumbuh bibit, aplikasi *Trichoderma* sebagai biofungisida pada tajuk, aplikasi *Trichoderma* sebagai biofertilizer sebagai bagian dari pemupukan tanaman, dan seleksi dini bibit tanaman agar persemaian terbebas dari tanaman sakit.

6.2 Saran

Beberapa rekomendasi yang diajukan adalah sebagai berikut:

- (i) Perlu pengujian berbagai isolat *Trichoderma* dari berbagai lokasi dan kawasan pemangku hutan untuk mendapatkan isolat unggul yang dapat digunakan baik sebagai biopestisida maupun biofertilizer agar dapat mendorong kegiatan persemaian yang bebas pestisida kimia;
- (ii) Perlu dilakukan pengujian aplikasi *Trichoderma* pada berbagai variasi sistem tumpang sari dalam agroforestri berbasis pinus dan tanaman hortikultur strategis

- (iii) Perlu kerjasama dan dukungan lembaga penelitian dan pengembangan yang dimiliki Perum Perhutani agar hasil penelitian terkait perlindungan kesehatan tanaman hutan dan persemaian dapat diimplementasikan secara efektif di lapang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sutarman. 2017. The impact controlling of the increasing plant pathogens virulence to prevents environmental degradation, In: In'am A, Latipun, Hiley H, Musa MZ, Bantala DS, & Batre NM (eds.), Proceedings 4th International Conference the Community Development in ASEAN, 21-23 March 2017, pp. 789-803. Royal Academy of Cambodia, Russian Federation Blvd, Pochentong Phnom Penh Cambodia
- [2] Sutarman, Achmad, & Hadi S. 2001. Penyakit hawar daun bibit *Pinus merkusii* di pesemaian. Agritek 9: 1419-1427
- [3] Sutarman, S. Hadi, A. Saefuddin, Achmad, & A. Suryani. 2004. Epidemiologi hawar daun bibit *Pinus merkusii* yang disebabkan oleh *Pestalotia theae*. J. Manajemen Hutan Tropika 10 (1): 43-60
- [4] Canon P. 1997. Report on fungi from diseased Acacia samples examined at Institute of Horticultural Development, Knoxfield Victoria. Hlm. 108-113 dalam Proceedings of an International Workshops held at Subanjeriji (South Sumatra); Subanjeriji; 28 April - 3 May 1996. Old KM, See LS, Sharma JK (peny.). Bogor: Cifor Special Publication
- [5] Old KM. 1997. Diseases of tropical acacias in Torthern Queensland. Hlm. 1-22 dalam Proceedings of an International Workshop held at Subanjeriji (South Sumatra); Subanjeriji; 28 April - 3 May 1996
- [6] Sharma JK & Florence EJM. 1997. Fungal pathogens as a potential threat to tropical acacias: case study of India. Hlm. 70-107 dalam Proceedings of an International Workshop held at Subanjeriji (South Sumatra); Subanjeriji; 28 April -

- 3 May 1996. Old KM, See LS, Sharma JK (peny.). Bogor: Cifor Special Publication
- [7] Sutarman, S. Hadi, A. Suryani, Achmad, & A. Saefuddin. 2004. Patogenesis hawar daun bibit *Pinus merkusii* yang disebabkan oleh *Pestalotia theae* di pesemaian. J. Hama dan Penyakit Tumbuhan Tropika 4(1): 32-41
 - [8] Yulida M. 2016. Ini Jurus Kementan dan FAO Agar Lahan Kering Bisa Digarap Petani. <https://finance.detik.com/ekonomi-bisnis/3364375/ini-jurus-kementan-dan-fao-agar-lahan-kering-bisa-digarap-petan>. Diakses 2 Mei 2017
 - [9] Katadata. 2017. Pemanfaatan 36,8 juta hektare lahan pertanian belum maksimal. <http://katadata.co.id/berita/2016/12/07/jokowi-pemanfaatan-368-juta-hektare-lahan-pertanian-belum-maksimal>. Diakses 22 April 2017
 - [10] Sukarno A., Hardiyanto E.B., Marsoem S.N., & Na'iem M. 2013. Correlation of drill size differences on resin production of *Pinus merkusii* Jungh Et De Vriese. *J-PAL* 4 (1): 38-42
 - [11] Pemprov Jawa Timur. 2005. Peraturan Daerah Propinsi Jawa Timur Nomor 6 Tahun 2005 tentang Penertiban dan Pengendalian Hutan Produksi di Propinsi Jawa Timur
 - [12] Achmad, S. Hadi, EG Sa'id, B. Satiawihardja, MK Kardin, & Harran S. 1999. The potential use of two species of *Trichoderma* for the biological control of damping-off on *Pinus merkusii*. Hal. 103-107 dalam Proceedings of Manila Workshop. RE De la Cruz, M Follosco, K Ishii (peny.). Manila, Philippines BIIO-REFOR/IUFRO/SPDC
 - [13] Ginting C dan Maryono T. 2012. Penurunan keparahan penyakit busuk pangkal batang pada lada akibat aplikasi bahan organik dan *Trichoderma harzianum*. J. HPT Tropika 12:162-168
 - [14] Nurudin MJ & Sutarman. 2014. Potensi *Trichoderma* sp. sebagai penegndali *Phytophthora*

- palmivora* penyebab hawar daun bibit kakao. J. Nabatia 11 (1):21-28
- [15] Achmad, S Hadi, S Harran, EG Sa'id, B Satiawihardja, & Kardin MK. 1997. Biochemical Defence Of *Pinus merkusii* Seedlings Against Damping-Off Pathogens. Hal. 237-240 dalam Proceedings of Brisbane Workshop. J Kikkawa, P Dart, D Doley, K Ishii, D Lamb, K Suzuki (peny.). Brisbane, Australia BIIO-REFOR/IUFRO/SPDC
- [16] Rahayu, S. 2000. Potensi ektomikoriza dalam menurunkan intensitas penyakit busuk akar dan kering pucuk pada semai *Pinus merkusii*. Hlm. 147-153 dalam Prosiding Hasil Seminar Nasional Mikoriza I; Bogor; 15-16 November 1999. Anonim (peny.). Pusat Penelitian dan Pengembangan Hutan. Bogor
- [17] Bailey MJ & Pessa E. 1990. Strain and process for production of polygalacturonase. *Enzyme Microb. Technol.* 12: 266-271
- [18] Huber L & Gillespie TJ. 1992. Modelling leaf wetness in relation to plant disease epidemiology. *Annu. Rev. Phytopathol.* 30: 553-577
- [19] Abbas HK, Egley GH, & Paul RN. 1995. Effect of conidia production temperature on germination and infectivity of *Alternaria helianthi*. *Phytopathology* 85: 677-682
- [20] DeVallavieille-Pope C, Huber L, Leconte M, & Goyeau H. 1995. Comparative effects of temperature and interrupted wet periods on germination, penetration, and infection of *Puccinia recondita* f. sp. tritici and *P. striiformis* on wheat seedlings. *Phytopathology* 85: 409-415
- [21] Gilles T, Fitt BD dan Jeger MJ. 2001. Effect of environmental factors on development of *Pyrenopeziza brassicae* (light leaf spot) apothecia on oilseed rape debris. *Phytopathology* 91: 392-398

- [22] Agrios GN. 1997. Plant pathology. Edisi ke-4. Academic Press. San Diego
- [23] Dix NJ dan Webster J. 1995. Fungal ecology. Chapman & Hall. London
- [24] Sutarman, Hadi S, Achmad, Suryani, A & Saefuddin A. 2004. Sumber inokulum patogen hawar daun bibit *Pinus merkusii* di pesemaian. *J. Nabatia* 1 (2): 267-77
- [25] Sulistyowati L, NL Hamidah, & S. Djauhari. 1999. Pengaruh jenis dan masa peram ekstrak kompos pada aplikasi *Trichoderma* spp. untuk pengendalian penyakit bercak daun apel (*Marssoninna soronaria*). *J. Agritek* 7 (1): 8-15.
- [26] Harman GE, Howel CR, Viterbo A, Chet I, & Lorito M. 2004. *Trichoderma* species-opportunistic, avirulent plant symbionts, Nature Reviews, *Microbiol.* 2:43-56
- [27] Ginting C & Maryono T. 2011. Efektivitas *Trichoderma* spp. dengan bahan organik dalam pengendalian penyakit busuk pangkal batang lada. *J. HPT Tropika* 11:147-156
- [28] Howell CR. 2003. Mechanisms employed by *Trichoderma* species in the biological control of plant diseases: the history and evolution of current concepts. *Plant Dis.* 87, 4-10
- [29] Verma M, Brar SK, Tyagi RD, Surampalli RY, & Valero JR. 2007. Antagonistic fungi, *Trichoderma* spp.: panoply of biological control. *Biochemistry Engineering Journal* 37, 1-20
- [30] Benítez T, Rincón AM, Limón MC, & Codon A. 2004. Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* strains. *Int. Microbiol.* 7 (4), 249-260
- [31] Harman GE. 2006. Overview of mechanisms and uses of *Trichoderma* spp. *Phytopathology* 96, 190-194
- [32] Vinale F, Sivasithamparan K, Ghisalberti EL, Marra R, Barbetti MJ, Li H, Woo SL, & Lorito M. 2008. A novel role for *Trichoderma* secondary metabolites in the interactions with plants. *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 72, 80-86

- [33] Gravel V, Antoun H, & Tweddell RJ. 2007. Growth stimulation and fruit yield improvement of greenhouse tomato plants by inoculation with *Pseudomonas putida* or *Trichoderma atroviride*: possible role of indole acetic acid (IAA). *Soil Biol. Biochem.* 39, 1968–1977
- [34] Srivastava R., Khalid A, Singh US, & Sharma AK. 2010. Evaluation of arbuscular mycorrhizal fungus, fluorescent *Pseudomonas* and *Trichoderma harzianum* formulation against *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* for the management of tomato wilt. *Biological Control* 55, 24-31
- [35] Vargas Gil S, Pastorb S, & Marcha GJ. 2009. Quantitative isolation of biocontrol agents *Trichoderma* spp. *Gliocladium* spp. and Actinomycetes from soil with culture media. *Microbiol. Res.* 164, 196–205
- [36] Sutarman & Prihartiningrum AE. 2015. Penyakit hawar daun Pinus merkusii di berbagai persemaian kawasan utama hutan pinus Jawa Timur. *J. HPT Tropika* 15 (1): 44-52
- [37] Ginting C. 1997. Screening for fungal biocontrol agents against *Phytophthora capsici* Leonian (*P. Palmivora* MF4) causing root rot on black pepper. Hlm, 406-410 dalam Prosiding Kongres dan Seminar Ilmiah Perhimpunan Fitopatologi Indonesia. Kusuma SSH (peny.), 27-28 Oktober 1997. Palembang
- [38] Guba EF. 1961. Monograph of *Monochaetia* and *Pestalotia*. Harvard Univ. Press. Massachusetts
- [39] Achmad, S Hadi, EN Herliyana, & A Setiawan. 1999. Patogenesisitas *Rhizoctonia solani* Pada Semai *Pinus merkusii* dan *Acacia mangium*. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika* 1 (1-2): 10-17
- [40] Sumardiyono C, Wibowo A, & Suryanti. 2007. Pengendalian penyakit layu pisang dengan *Fusarium* nonpatogenik dan *Fluorescent Pseudomonads*. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indoneia*, 13 (2): 142-150

- [41] Fadhilah S, Wiyono S & Surahman, M. 2014. Pengembangan teknik deteksi *Fusarium* patogen pada umbi benih bawang merah (*Allium ascalonicum*) di laboratorium. *J. Hort.* 24(2):171-178
- [42] Noveriza R, Tombe, Rialdy H, & Manohara D. 2005. Aplikasi *Fusarium oxysporum* non patogenik (FoNP) untuk menginduksi ketahanan bibit lada terhadap *Phytophthora capsici* L. *Buletin Penelitian Tanaman Rempah dan Obat*, 16 (1): 1-11
- [43] Isniah US & Widodo. 2015. Eksplorasi *Fusarium* nonpatogen untuk pengendalian penyakit busuk pangkal pada bawang merah. *J Fitopatol Indones*, 11 (1): 14-22
- [44] Dayana Amira R, Roshanida AR, Rosli MI, Zahrah SFMF, Anuar MJ, & Adha NCM. 2012. Bioconversion of empty fruit bunch (EFB) and palm oil mill effluent (POME) into compost using *Trichoderma virens*. *African Journal of Biotechnology* 10, 18775-18780
- [45] Yedidiaa I, Benhamoub N, Kapulnikc Y, & Cheta I. 2000. Induction and accumulation of PR proteins activity during early stages of root colonization by the mycoparasite *Trichoderma harzianum* strain T-203. *Plant Physiology and Biochemistry* 38 (11): 863-873
- [46] Al-Taweil HI, Osman MB, Aidil AH, & Wan-Yussof WM. 2009. Optimizing of *Trichoderma viride* cultivation in submerged state fermentation. *Am. J. Appl. Sci.* 6, 1277-1281
- [47] Chowdappa P, Kumar SPM, Lakshmi MJ, & Upreti KK. 2013. Growth stimulation and induction of systemic resistance in tomato against early and late blight by *Bacillus subtilis* OTPB1 or *Trichoderma harzianum* OTPB3. *Biol. Control* 65, 109-117
- [48] Rodriguez HG, Maiti R, & Kumari CA. 2016. Biodiversity of leaf traits in woody plant species in Northeastern Mexico: A Synthesis. *Forest Res* 5: 169. doi:10.4172/2168-9776.1000169

- [49] AlAskar AA & Rashad YM. 2010. Arbuscular mycorrhizal fungi: a biocontrol agent against common bean *Fusarium* root rot disease. *Plant Pathol. J.* 9, 31–38
- [50] Dubey SC, Suresha M, & Singha B. 2007. Evaluation of *Trichoderma* species against *Fusarium oxysporum* f. sp. ciceris for integrated management of chickpea wilt. *Biol. Control* 40, 118–127
- [51] Saravanakumar K, Yu C, Dou K, Wang M, Li Y, & Chen J. 2016. Synergistic effect of *Trichoderma*-derived antifungal metabolites and cell wall degrading enzymes on enhanced biocontrol of *Fusarium oxysporum* f. sp. cucumerinum. *Biological Control* 94 (2016) 37–46
- [52] Gerbore J, Benhamou N, Vallance J, Le Floch G, Grizard D, Regnault-Roger C, & Rey P. 2014. Biological control of plant pathogens: advantages and limitations seen through the case study of *Pythium oligandrum*. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 21, 4847–4860.)
- [53] Buysens C, César V, Ferrais F, De Boulois HD, & Declerck S. 2016. Inoculation of *Medicago sativa* cover crop with *Rhizophagus irregularis* and *Trichoderma harzianum* increases the yield of subsequently-grown potato under low nutrient conditions. *Applied Soil Ecology* 105,137–143
- [54] Hu X, Roberts DP, Xie L, Yu C, Li Y, Qin L, Hu L, Zhang Y, & Liao X. 2016. Use of formulated *Trichoderma* sp. Tri-1 in combination with reduced rates of chemical pesticide for control of *Sclerotinia sclerotiorum* on oilseed rape. *Crop Protection* 79, 124–127
- [55] Youssef SA, Tartoura KA, & Abdelraouf GA. 2016. Evaluation of *Trichoderma harzianum* and *Serratia proteamaculans* effect on disease suppression, stimulation of ROS-scavenging enzymes and

- improving tomato growth infected by *Rhizoctonia solani*. *Biological Control* 100, 79–86
- [56] Alguacil MM, Torrecillas E, García-Orenes F, & Roldán A. 2014. Changes in the composition and diversity of AMF communities mediated by management practices in a Mediterranean soil are related with increases in soil biological activity. *Soil Biol. Biochem.* 76, 34–44
- [57] Van der Heijden MG, Streitwolf-Engel R, Riedl R, Siegrist S, Neudecker A, Ineichen K, Boller T, Wiemken A, & Sanders IR. 2006. The mycorrhizal contribution to plant productivity, plant nutrition and soil structure in experimental grassland. *New Phytologist* 172, 739–752
- [58] Sutarman. 1997. Effect of compost to intensity of mycorrhizal infection on the roots of *Pinus merkusii*. *J. Agritek* 5 (2): 79–90
- [59] Widyati E., Irianto R.S.B., Santosa S., Najmullah, & Sutarman. 2001. The impact of carbofuran environmental insecticide against fungi ectomycorrhizal *Pisolithus arrhizus* and *Schleroderma columnare* inoculated on seedlings of *Pinus merkusii* Jung et de Vries. *J. Agritek* 9 (3): 1178—1182
- [60] Heinemeyer A, Hartley IP, Evans SP, Carreira De La Fuente JA, & Ineson P. 2007. Forest soil CO₂ flux: uncovering the contribution and environmental responses of ectomycorrhizas. *Glob. Change Biol.* 13, 1786–1797. doi:http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01383.x
- [61] Barea JM, Palenzuela J, Cornejo P, Sánchez-Castro I, Navarro-Fernández C, López-García A, Estrada B, Azcón R, Ferrol N. & Azcón-Aguilar C. 2011. Ecological and functional roles of mycorrhizas in semi-arid ecosystems of Southeast Spain. *J. Arid Environ.* 75, 1292–1301.

ISBN 978-979-3401-99-7



9 789793 401997